



Universidad
Complutense
Madrid



Universidad
Rey Juan Carlos



POLITÉCNICA

ESTUDIO DE CONECTIVIDAD DE PARCELAS CAFETALERAS Y PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN PARA LIMITAR LA DISPERSIÓN DE LA BROCA DEL CAFÉ (*Hypothenemus hampei*) MEDIANTE PARCHES DE BOSQUE TROPICAL (TURRIALBA) COSTA RICA

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

D^a ANDREA GALLARDO RODRÍGUEZ

Director:

Dr. JACQUES AVELINO

Tutor Académico:

Dr. SERGIO GONZÁLEZ ÁVILA

Alcalá de Henares, a 7 de Septiembre de 2013





“No se separa la tierra, de las manos que la nutren, la riegan.
No se conserva la naturaleza a espaldas de la agricultura
que alimenta las bocas que la cantan y colorean.
Escuchando a manos expertas
de años y arena
devolviendo sonrisas curtidas
de sol, de tierra”

Gracias a...
Amandine, Ray, Simon, Gaetan, Gaby, Ángela, Karel, Lluís, Alfonso, Juan Pablo
por las tardes de risas, conversaciones, viajes, papayas y mangos. Por
presentarme al Caribe y descubrirme Latinoamérica, por hacer de mi estancia
en Costa Rica un tesoro.
Alvarito y Gaby por seguir estando (y por celebrar 27 cumpleaños a 4000
metros encima de un volcán de nombre imposible)
Mi familia, por animarme siempre, sea cual sea la dirección que elijo.
Mi Andre, que un océano siga restando distancia.

Agradecida a...
Jacques Avelino (CIRAD) por la segunda y fantástica oportunidad que me
ofreció, y que ha permitido que termine este Trabajo.
Sergio González Ávila (ECOGESFOR) por tu inestimable ayuda a tantos
kilómetros de distancia y los e-mails repletos de detalles y paciencia.



Índice

1. Resumen

2. Summary

3. Introducción

4. Objetivos

- 4.1. Objetivos generales
- 4.2. Objetivos específicos

5. Consideraciones previas

6. Material y Métodos

- 6.1. Ubicación y descripción del área de estudio
- 6.2. Fundamentos teóricos del estudio
 - 6.2.1. Conectividad ecológica. Teoría de grafos. Índices de conectividad empleados
 - 6.2.2. Estudios de conectividad, hábitats seleccionados y especies objetivo.
 - 6.2.3. Biología de las especies objetivo.
- 6.3. Metodología
- 6.4. Proceso de selección de las fincas cafetaleras
- 6.5. Medidas de restauración

7. Resultados y Discusión

8. Conclusiones

- 8.1. Recomendaciones para estudios posteriores

9. Bibliografía

10. Anexos



Índice de tablas y figuras

Figura 1. Límites de los Sub- Corredores dentro del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca y ubicación del cantón de Turrialba.

Figura 2. Mapa de usos de suelo del Corredor Biológico. olcánicaentral Talamanca, Costa Rica.

Figura 3. Un ejemplo sencillo de paisaje para ilustrar los diferentes papeles que pueden jugar las teselas de hábitat según la forma en que contribuyen a la conectividad y disponibilidad de hábitat a escala de paisaje.

Figura 4. Ciclo de vida de *H. hampei*.

Figura 5. Metodología.

Figura 6. Frecuencias de conteos totales por trampa vs. distancias con el correspondiente ajuste obtenido del mejor modelo para el tipo de uso Bosque, en las localidades CATIE, Colima y Tuis.

Figura 7. Representación del índice $dPCflux + dPCconnector$ para el hábitat de la Broca (parcelas de café) de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.

Figura 8. Localización de las parcelas seleccionadas para restauración y coordenadas de las mismas para poder identificarlas en la base de datos del ICAFE.

Figura 9. Localización espacial mediante foto satélite de las parcelas de restauración.

Figura 10. Situación de las parcelas de restauración y detalle de la forma de anillo que forman rodeando las teselas de café claves.

Figura 11. Localización de las parcelas de restauración (nuevas parcelas de bosque)

Figura 12. Representación del índice $dPCflux$ para el hábitat de la Broca antes de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.



Figura 13. Representación del índice dPCflux para el hábitat de la Broca después de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.

Figura 14. Representación del índice dPCconnector para el hábitat de la Broca antes de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.

Figura 15. Representación del índice dPCconnector para el hábitat de café después de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.

Tabla 1. Cultivos donde las abejas sin aguijón realizan una importante contribución a la polinización.

Tabla 2. Especies forestales utilizadas por las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponinae) como sustrato para establecer sus nidos e importancia alimenticia para las abejas y otros usos. N: néctar, P: polen, ND: no hay datos, 1: abejas sin aguijón, 2: Apis melífera, 3: maderable y otros usos. País: lugar donde se reportó la especie forestal y las especies de abejas respectivas.

Tabla 3. Presentación de las parcelas cafetaleras ordenados de mayor a menor según el valor de la suma de dPCflux + dPCconnector.





1. Resumen

La fragmentación del paisaje suele interpretarse como un proceso negativo para el equilibrio de los ecosistemas. No es así cuando se trata de plagas agrícolas como la Broca del café (*Hypothenemus hampei*), considerada una de las plagas de mayor importancia económica en todo el mundo. Este diminuto escolítido ocasiona graves daños en los granos de café asociados con la perforación y la caída prematura de los frutos. En Costa Rica el 90% de la producción cafetalera proviene de pequeños productores, por lo que perder la cosecha se convierte en un grave problema socioeconómico. Las medidas implementadas actualmente son productos químicos, algunos ya prohibidos en otros países por su alto potencial contaminante. Este Estudio pretende ofrecer alternativas de manejo basadas en la ecología del paisaje.

Un trabajo con 2.6CONEFOR ha permitido determinar las parcelas de café que más contribuyen a la expansión de la plaga. La solución propuesta consiste en instalar parches de bosque tropical alrededor de dichas fincas, basándonos en estudios anteriores (Montes, K. 2012 y Pastora, A., 2010) que revelan que el escolítido es incapaz de atravesar bosque al no encontrar refugio ni alimento. De esta forma se reduce drásticamente el nivel de infestación a las fincas cafetaleras cercanas. Las especies arbóreas se han seleccionado según los requerimientos ecológicos de las abejas sin aguijón (las fincas cafetaleras polinizadas por abejas aumentan considerablemente su producción). Para comprobar el efecto del aumento de la superficie de bosque sobre la conectividad para las abejas se ha realizado un estudio paralelo también con 2.6CONEFOR.



2. Summary

Landscape fragmentation is usually interpreted as a negative process for the equilibrium of ecosystems. The same cannot be said when we talk about agricultural pests as the Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*), considered one of the most important economic plagues in the world. This tiny bark beetle causes serious hurts in the coffee beans associated with the perforation and the premature fall of the fruits. In Costa Rica 90% of coffee production comes from small producers, therefore crop failure becomes a serious socioeconomic problem. The measures implemented nowadays are chemical, some of these products are already prohibited in other Countries for its potential of contamination. This Study tries to offer alternatives of management based on the landscape ecology.

Through the 2.6CONEFOR software the coffee plots which contribute most to the dissemination of the pest are determined. The proposed solution is to plant patches of tropical forest around the mentioned coffee plots, based on previous studies (Montes, K. 2012; Pastora, A., 2010) that reveal that the bark beetle is unable to cross forest patches because it cannot find refuge neither food. With this method the level of infestation to the nearby coffee plots diminish drastically. Tree species have been selected according to the ecological requirements of the stinglesbees (production of coffee plantations pollinated by bees is largely magnified). To verify the effect of the surface forest increase on the connectivity for the bees a parallel study has been realized.



3. Introducción

Las estrategias de desarrollo económico implementadas a nivel estatal han generado presiones sobre los recursos naturales y fragmentación de los ecosistemas. En consecuencia son habituales los paisajes en los que la matriz está dominada principalmente por actividades agrícolas y ganaderas.

Por este motivo, la conectividad del paisaje, entendida como aquella característica que facilita en mayor o menor medida los flujos ecológicos a través del territorio, se considera hoy en día parte central de las estrategias de conservación de la biodiversidad y una de las mejores respuestas para contribuir a mitigar los efectos negativos de la fragmentación de los hábitats y del cambio climático (De la Cruz, M. y Maestre, F. T. (eds.) 2013). Sin embargo si el hábitat a estudiar es de naturaleza agrícola y hospeda a una de las principales plagas de importancia económica del café los esfuerzos por mitigar la fragmentación serán diametralmente opuestos.

En este Estudio se expone uno de los casos en los que una alta conectividad puede tener efectos contraproducentes sobre los sistemas ecológicos y los objetivos de conservación, y en el que el incrementar la fragmentación del hábitat estudiado puede ser más eficiente que otras alternativas de manejo frente a las plagas al alcance del productor de café.

La economía costarricense ha estado históricamente sustentada en las actividades agropecuarias, siendo el café uno de los principales ingresos del país, por detrás del turismo y la exportación de cacao. Costa Rica exporta la mayor parte de su café a precios altos por su gran calidad. El cantón de Turrialba, en la provincia de Cartago, no se ha escapado a esta tendencia caficultora, ubicándose en los primeros lugares de la producción estatal; sin embargo, los rendimientos se han visto afectados por factores adversos como las condiciones climáticas y la afectación de plagas, especialmente la broca del café (*Hypothenemus hampei*) (ICAFE, 2004).



La broca del café (*Hypothenemus hampei*), también conocido como barrenillo del café, pertenece al orden Coleóptera, división polyphaga, familia scolytidae, subfamilia Ipiniae (Ticheler, 1961). *H. hampei*, al igual que la planta del café (*Coffea arabica*), es originario de África y fue citada por primera vez en 1891 como plaga en campo. Posteriormente, entre 1902 y 1909 se reporta en el Congo, Uganda y Java.

En la actualidad esta plaga se encuentra en casi todas las regiones del mundo donde se cultiva café. Se ha dispersado de un país a otro mediante semillas infestadas en sacos, contenedores y barcos. A partir de diciembre del año 2000 fue detectada en Costa Rica, que ocupa el tercer lugar en consumo en América Latina después de Brasil y Colombia (FAO 2004), en la principal zona cafetalera del país: el Valle Central. Las características biológicas y las bajas poblaciones de controladores naturales en América Latina, le ha permitido adaptarse rápidamente a diferentes zonas agroecológicas e incrementar sus poblaciones rápidamente (Guharay et ál., 2000).

H.hampei ocasiona graves daños asociados con la putrefacción y caída prematura de los frutos, en los que realiza galerías y oviposita, permaneciendo en su interior mientras su progenie se desarrolla (Romero y Cortina 2007). El mayor daño se debe a que la broca no solo perfora los frutos tiernos, provocando su caída prematura, sino que también perfora los granos maduros, produciendo daño fisiológico, pudrición de frutos y la caída de estos al suelo. Esto se refleja en pérdidas directas del peso y disminución de la calidad de la bebida debido a la presencia de micotoxinas como las ochratoxinas producidas por *Aspergillus ochraceus* Willh (Guharay et ál. 2000).

Como consecuencia de los daños expuestos *Hypothenemus hampei* está considerada una de las plagas de mayor importancia económica en el mundo, pudiendo provocar pérdidas de hasta el 50% de la cosecha. EL 92% de los productores son pequeños agricultores, por lo que la pérdida de cosecha se refleja directamente en su calidad de vida, dato que hace más grave la situación desde el punto de vista social.

Las soluciones que tratan de evitar los daños producidos por la Broca a las plantaciones implementadas en la actualidad son básicamente tres:



- Trampas de kailomonas (sustancias no sexuales que atraen organismos de otras especies, como los olores emitidos por los frutos de café), empleadas para atraer a la hembra de la broca y capturarla durante la época de colonización de nuevos granos de café.
- Limpieza y poda de los cafetales. Tienen dos objetivos, por una parte evitar la presencia de frutos caídos podridos, y por otra propiciar la entrada de luz en la planta, que disminuye el grado de humedad y por tanto la posible presencia de *H. hampei*.
- Distintos insecticidas, alguno de los empleados actualmente en Costa Rica ya han sido prohibidos en otros países por su alto potencial de contaminación ambiental. Ejemplos de insecticidas tóxicos empleados son Fentopen 500EC y Lorsban 4EC.

Dichas soluciones cuentan con el agravante de ser costosas para los productores, de no asegurar unos resultados homogéneos ni satisfactorios y en el caso de alguno de los insecticidas empleados de ser altamente nocivos tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

El presente trabajo trata de ofrecer una alternativa de manejo para disminuir la infestación de la plaga a fincas cercanas sanas, tomando como base los principios de la ecología del paisaje y la conectividad ecológica. Para ello se han tomado los resultados de estudios previos (Montes Escobar K., 2012) que demuestran que cuanto mayor homogeneidad existe en el paisaje (grandes extensiones de cafetales), más facilidades encuentra la *H. hampei* para encontrar nuevos frutos, reproducirse y por tanto extenderse a través de las plantaciones de café.

Estudios como el de Pastora Olivas A., 2010, confirman que los distintos usos de suelo aledaños al cafetal provocan una fricción importante que impide que la broca se disperse con tanta facilidad. Los usos de suelo estudiados fueron caña de azúcar, pastizales y bosque tropical. El que demuestra una mayor fricción es el bosque. Además, el 70% de los depredadores (Hormigas como *Solenopsis germinata* y *Pheidole radoszkowskii*) de *H. hampei* viven en hábitats forestales.



En este trabajo se han estudiado las fincas que aportan mayor conectividad entre las plantaciones de café. Se propone actuar sobre dichas introduciendo parcelas de bosque tropical en forma de anillos que rodean por completo las plantaciones para frenar el avance de la especie, al mismo tiempo que aumenta la conectividad entre los fragmentos de bosque tropical remante. Las especies arbóreas para la reforestación se han seleccionado según los requerimientos ecológicos de las abejas sin aguijón (las fincas cafetaleras polinizadas por abejas aumentan considerablemente su producción). Para comprobar el efecto del aumento de la superficie de bosque sobre la conectividad para las abejas se ha realizado un estudio paralelo también con 2.6CONEFOR.

Exponiendo el trabajo desde el punto de vista de conservación y mejora del bosque tropical se estarían llevando a cabo medidas de restauración basadas en la premisa de estar actuando sobre los procesos limitantes que impiden el crecimiento de este ecosistema. Es importante destacar que dichos procesos limitantes son únicamente sociales. Descartados problemas derivados de la falta de algún nutriente importante en el sustrato, exceso o defecto de precipitaciones, problemas en la estabilidad del terreno, así como habiendo comprobado que la fuente de semillas está cercana y conserva una buenas condiciones de salud, el único motivo por el cual el bosque tropical no reconquista territorios perdidos es social: la agricultura del café es parte de la cultura y uno de los principales ingresos de Costa Rica.

Por tanto, toda medida que se lleve a cabo para la conservación de la naturaleza debe respetar y tratar de mejorar los cultivos, aportando soluciones comunes para las plantaciones, en ese caso, de café y para la conservación o mejora del bosque tropical y del resto de ecosistemas.

Un trabajo en el que la agricultura y lo forestal pueden compenetrarse hasta el punto de beneficiarse entre ellas.



4. Objetivos

4.1. OBJETIVOS GENERALES

- Aplicar los principios de ecología del paisaje y conectividad ecológica a la agricultura, para evitar la rápida infestación de la plaga *H. hampei* a través de las plantaciones de café.
- Proponer soluciones que amplíen las posibilidades de manejo de las plantaciones agrícolas como solución contra las plagas, actualmente basadas en productos químicos, algunos de ellos contaminantes.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar las fincas de café que más contribuyen a la conectividad para *H. hampei* mediante el uso de 2.6 CONEFOR.
- Proponer medidas de control de la plaga que su vez aumenten la superficie del bosque tropical.
- Realizar un estudio de conectividad paralelo de los fragmentos de bosque tropical para la especie *Apis mellifera*, por sus beneficios a la producción del café.



- Equilibrar estas propuestas con los intereses del productor para que sean propuestas viables y que se puedan llevar a cabo de una forma sostenible para la economía del productor.
- Determinar la superficie de bosque necesaria (ancho de las plantaciones a introducir) para frenar el avance de la broca de forma eficiente.
- Reducir el valor de los índices dPCflux y dPCconnector entre las parcelas de café, hábitat de la Broca.
- Aumentar el valor de los índices dPCintra, dPCflux y dPCconnector entre los parches de bosque húmedo, hábitat de las abejas sin aguijón.



5. Consideraciones previas

- La capacidad de dispersión a corta distancia de *Hypothenemus hampei* fuera de los sistemas agroforestales de café está condicionada por el uso de suelo adyacente, y el que mayor fricción ocasiona a su avance es el bosque.
- El bosque representa una barrera para el movimiento de la plaga entre los usos de suelo en donde hay parches de café, consecuentemente su implementación y/o protección se recomienda para disminuir la dispersión de broca.
- La cercanía del uso de suelo bosque a las fincas de café tiene un doble efecto beneficioso: impide en gran medida la infestación de la plaga a fincas cercanas y aumenta las poblaciones de depredadores de la Broca (*Solenopsis geminta* y *Pheidole radoszkowskii*)
- La Broca del café se desplaza fácilmente a través de fincas cafetaleras, encontrando mayor fricción en su avance cuando debe cruzar por distintos usos de suelo.
- El uso de suelo que mayor fricción genera al paso de *H.hampei* es el del bosque tropical.
- Las bajas capturas en áreas de bosque adyacentes a los cafetales encontrados en el estudio (permiten inferir que las áreas de bosque sirven como barrera para que la broca no se desplace, esto puede deberse a que el viento se lleva a la broca por encima del bosque, siendo este olfativamente repelente y por esto la broca no se acerca, en este caso las trampas con los difusores no actúan eficazmente ya que estas compiten con muchos olores. Sin embargo, para los usos de suelo caña y pasto se encontró una mayor capacidad del insecto para moverse. Una de las justificaciones a favor de esto es que los usos de suelo caña y pasto facilitan la dispersión al haber más corrientes de viento (Baker 1984, Bustillo et ál. 2007).



6. Materiales y métodos

6.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el cantón de Turrialba. Este se ubica dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT), Costa Rica, en las coordenadas geográficas 90 52' latitud norte y 830 38' longitud oeste.

La altitud varía desde los 600 hasta los 1400 m. La precipitación anual fluctúa entre 1000 mm y 3000 mm, siendo el promedio de 2,600 mm. Esta se distribuye casi en los doce meses del año. La humedad relativa tiene un promedio de 85%. La temperatura ambiental varía entre 24 y 29°C.

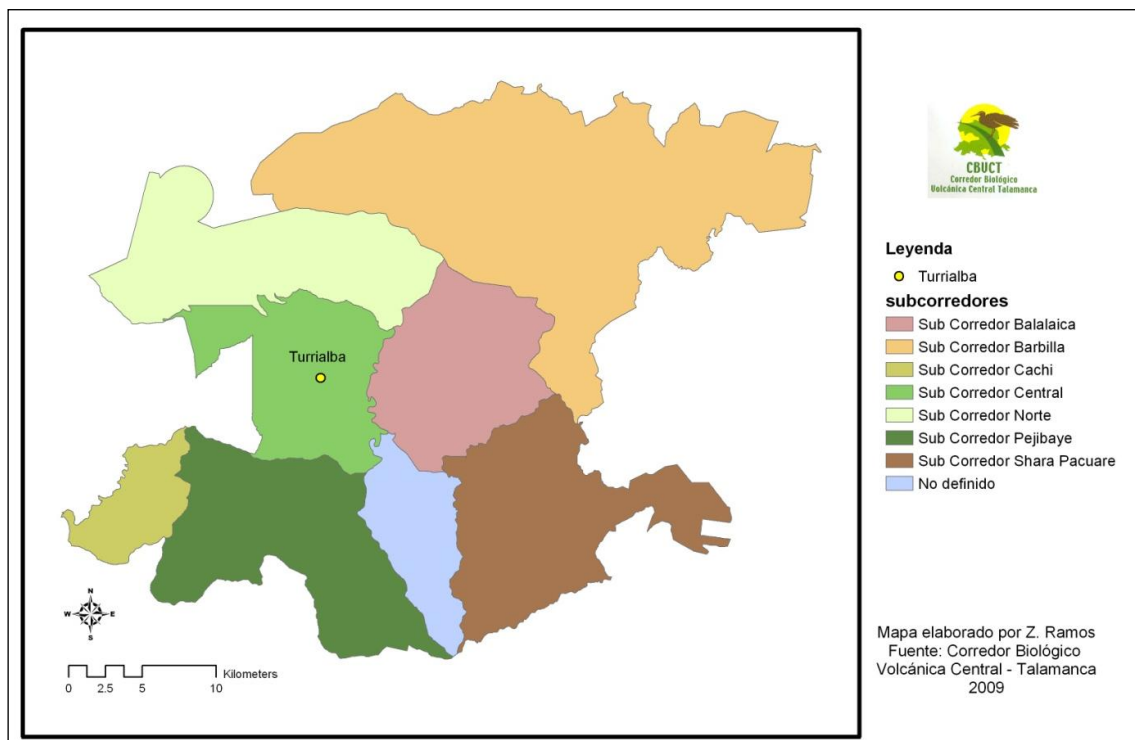


Figura 1. Límites de los Sub- Corredores dentro del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca y ubicación del cantón de Turrialba. Fuente: CATIE.

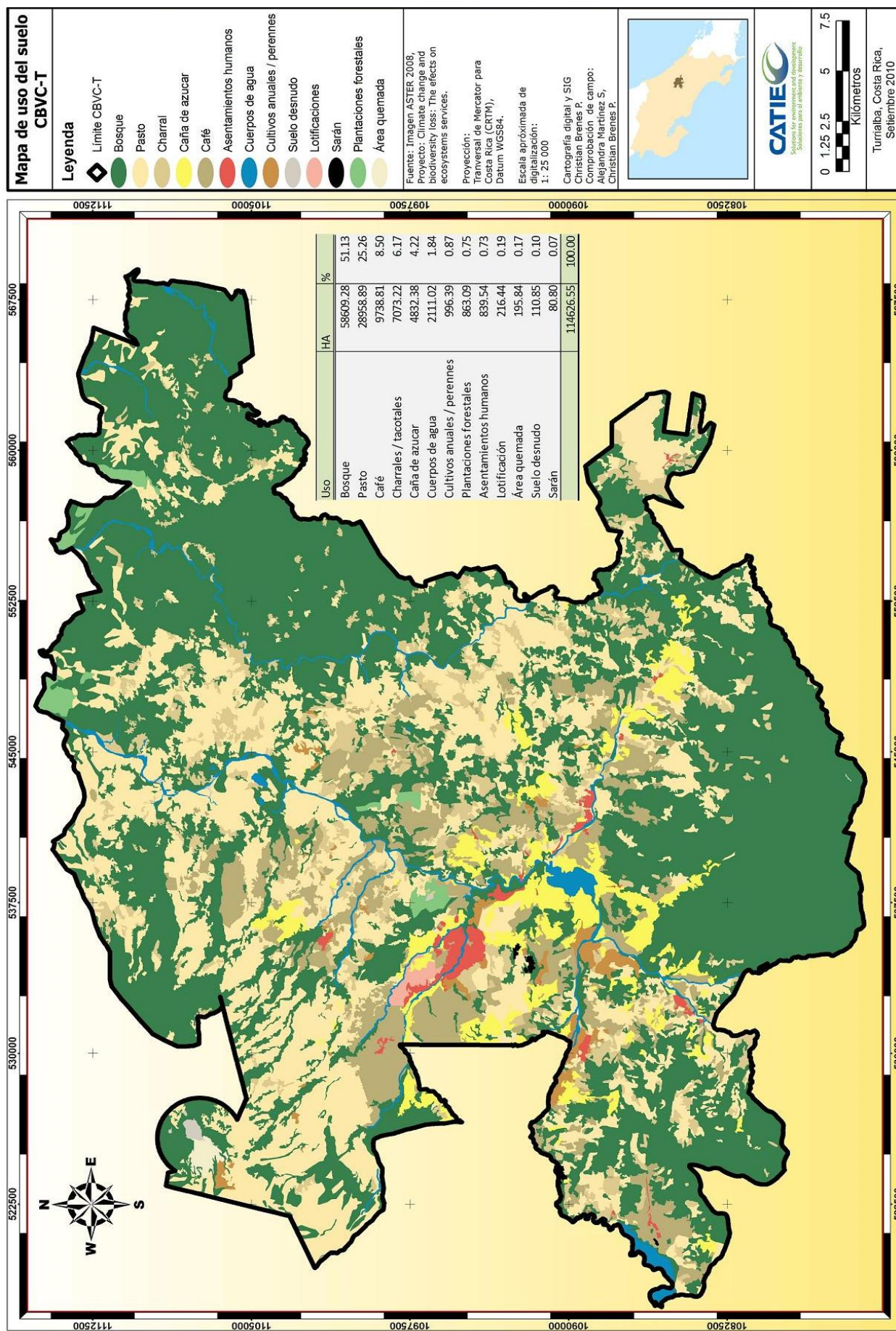


Figura 2. Mapa de usos de suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica.
Fuente: CATIE.



6.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ESTUDIO

6.2.1. Conectividad ecológica. Teoría de grafos. Índices de conectividad empleados.

La conectividad del paisaje (también llamada en ocasiones conectividad ecológica) se puede definir como aquella característica del mismo que facilita en mayor o menor medida el movimiento y dispersión de las especies, el intercambio genético, y otros flujos ecológicos a través de las zonas de hábitat existentes en el paisaje (modificado a partir de Taylor et al. [1993]).

La teoría de grafos es uno de los principales enfoques metodológicos disponibles para el análisis de la conectividad del paisaje. Los grafos son estructuras matemáticas compuestas por un conjunto de nodos y enlaces (que conectan pares de nodos) especialmente adecuadas para realizar análisis de conectividad en distintos tipos de redes (Strogatz 2001, Barabási 2002, Lesne 2006, Pascual y Dunne 2006, Grubestic et al. 2008). El gran desarrollo que ha experimentado la teoría de grafos en diversas disciplinas a lo largo de varias décadas brinda potentes herramientas, algoritmos y métricas que se pueden aplicar, con sus debidas adaptaciones, al análisis de la conectividad del paisaje.

Los grafos caracterizan el paisaje de una manera espacialmente explícita, permitiendo evaluar la importancia de los elementos individuales para el mantenimiento o fomento de la conectividad del paisaje en su conjunto, por lo que son utilizables para orientar las decisiones de planificación y conservación (Keitt *et al.* 1997, Urban y Keitt 2001, Jordán *et al.* 2003, Pascual-Hortal y Saura 2006, Fall *et al.* 2007, Estrada y Bodin 2008, Minor y Urban 2008, Saura y Rubio 2010).

Los grafos pueden modelar y representar el paisaje como un conjunto de teselas o unidades de hábitat interconectadas, lo cual se puede realizar de diferentes maneras dependiendo de los objetivos, escala y nivel de detalle del análisis. Así, los nodos representan las unidades espaciales objeto del análisis, habitualmente teselas de hábitat, aunque pueden corresponder también a otro tipo de unidades delimitadas de acuerdo con criterios espaciales, ecológicos o



de gestión (espacios protegidos, tramos o unidades de corta en una ordenación de montes, cuadrículas de un atlas faunístico, etc.). Los nodos se pueden caracterizar mediante un atributo que se considere relevante para el análisis, tal como el área de hábitat, la calidad o adecuación del mismo para una determinada especie, el número de individuos de la misma, etc. Los enlaces representan las relaciones topológicas o conexiones funcionales entre cada par de nodos; la existencia de un enlace implica la capacidad potencial de un organismo para, en mayor o menor grado, dispersarse de manera directa entre los dos nodos (sin necesidad de pasar por otros nodos o unidades de hábitat intermedios). Los enlaces se pueden caracterizar mediante una probabilidad de dispersión directa, habitualmente obtenida en función de la distancia entre los nodos, ya sea una distancia euclídea (en línea recta) o una distancia efectiva que tenga en cuenta las variables capacidades de dispersión y riesgo de mortalidad de una determinada especie o proceso a través de los diferentes tipos de cubierta presentes en la matriz del paisaje (Adriaensen *et al.* 2003, McRae *et al.* 2008).

Los índices de probabilidad empleados en el software 2.6Conefor han sido:

- dPC_{intra_k} (Probabilidad de conectividad intrateselar): Es la contribución de la tesela k en términos del área (o calidad) de hábitat disponible en su interior (intrapatch connectivity). Esta fracción es completamente independiente de la posición topológica de k dentro del paisaje y de la intensidad de las conexiones entre las diferentes teselas, no depende de las capacidades de dispersión de las especies y tendría el mismo valor aunque k estuviera completamente aislada.
- dPC_{flux_k} : Corresponde al flujo de dispersión (ponderado por el área u otro atributo utilizado para caracterizar las teselas de hábitat) recibido u originado a través de las conexiones de la tesela k con el resto de teselas de hábitat presentes en el paisaje, siendo k el origen o destino de dichas conexiones y flujos de dispersión. En el caso de trabajar con flujos de dispersión asimétricos (ver apartado 1.4.4), se podría desglosar esta fracción diferenciando entre el flujo que parte de una tesela y el recibido por la misma. Esta fracción depende tanto del atributo de la tesela como de su posición en el paisaje respecto al resto de teselas (interpatch connectivity). dPC_{flux_k} refleja lo bien conectado que está k con el resto del hábitat existente en el paisaje, pero no la



importancia de k para mantener los flujos y conexiones entre otras zonas de hábitat, aspecto que cuantifica la siguiente fracción.

- $dPCconnector_k$: Evalúa la contribución de la tesela k como elemento conector o tesela puente (stepping stone) entre el resto de teselas de hábitat del paisaje. Es decir, mide en qué medida k facilita los flujos dispersivos que no tienen su origen ni destino en k pero que sí son potenciados y pasan a través de k . Esta fracción es independiente del área o cualquier otro atributo local de la tesela k y tan solo depende de su posición topológica en el mosaico territorial.

Estas tres fracciones se derivan de un mismo marco conceptual, se miden en las mismas unidades y pueden ser comparadas y sumadas directamente. Ello supone una importante ventaja frente a otros conjuntos de índices, habitualmente heterogéneos y con muy diferentes características y unidades, que se han propuesto previamente para evaluar las diferentes funciones de las teselas de hábitat y los elementos del paisaje, tal y como se describe en Saura y Rubio (2010).

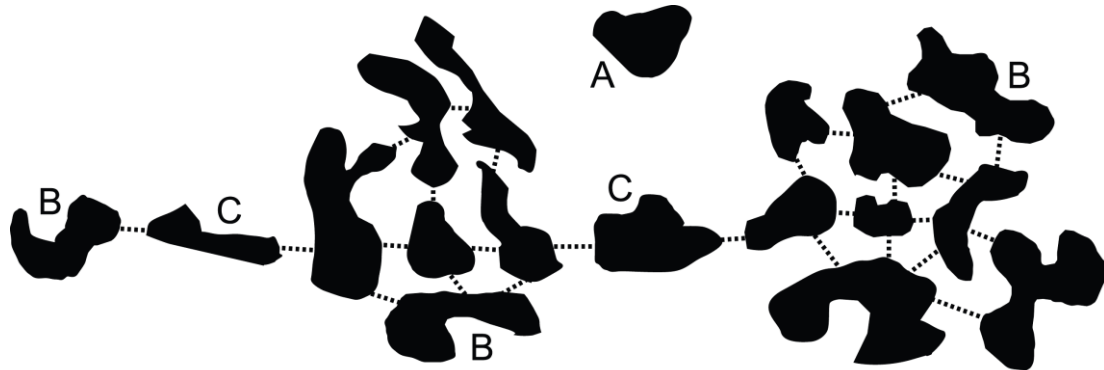


Figura 3. Un ejemplo sencillo de paisaje para ilustrar los diferentes papeles que pueden jugar las teselas de hábitat según la forma en que contribuyen a la conectividad y disponibilidad de hábitat a escala de paisaje. Las teselas de hábitat están representadas en color negro, mientras que las conexiones entre las mismas se indican mediante líneas discontinuas. La tesela A es una tesela aislada (sin conexión con ninguna otra tesela del paisaje) y que por tanto contribuye sólo mediante la fracción intra. Las teselas B contribuyen tanto con la fracción intra como con la flux (al estar conectadas y recibir un determinado flujo de dispersión de otras teselas del paisaje) pero no mediante la fracción connector. Las teselas C contribuyen, además de mediante las fracciones intra y flux, también mediante la fracción connector, al jugar un papel de tesela puente o elemento conector entre otras teselas de hábitat. Dentro de las dos teselas C, la tesela de la derecha presenta un valor mayor de la fracción connector, ya que su pérdida dejaría dividido el hábitat en dos mitades aisladas entre sí, mientras que la pérdida de la tesela C de la izquierda sólo dejaría aislada una de las muchas teselas existentes en el paisaje. Los ejemplos de tipologías de las teselas en esta figura no son exhaustivos, y el resto de teselas que no tienen una letra explícitamente asignada también corresponden a las tipologías B o C. Fuente: De la Cruz, M. y Maestre, F. T. (eds.) 2013.



En ambos estudios de conectividad se ha dado mayor importancia a los índices dPCflux y dPCconnector ya que son los que influyen en la capacidad de dispersión de la especie entre los parches de hábitat. Para las dos especies objetivo la pérdida de una determinada tesela puede tener gran impacto mayor en la capacidad de las especies de alcanzar otras teselas de hábitat, como indica una alta contribución de la fracción *connector*. En este caso, los organismos no pueden moverse de manera directa a cualquier otra tesela de hábitat en el paisaje, pero sí pueden dispersarse más fácilmente a algunas otras teselas cercanas que sirvan de elementos puente (*stepping stones*) o corredores discontinuos y hagan posible en última instancia alcanzar una mayor proporción del hábitat total existente en el paisaje mediante sucesivos pasos de unas teselas a otras.

6.2.2. Estudios de conectividad, hábitats seleccionados y especies objetivo.

Se han realizado dos estudios de conectividad ecológica en este estudio, los cuales pretenden alcanzar unos objetivos opuestos en base al tipo de hábitat y a las especies objetivo determinadas para cada caso:

a) Parcelas cafetaleras:

Se ha analizado la conectividad existente entre los parches con uso de suelo determinado como café con el objetivo de determinar las posibilidades de la Broca del café para “saltar” de una finca a otra cercana aumentando la infestación y las pérdidas de cosecha.

Se han propuesto medidas de mejora para tratar el problema de la broca desde los fundamentos de la ecología del paisaje, con el objeto de aumentar la desconexión dichas parcelas y reducir el valor de los índices dPCflux y dPCconnector, reduciendo así las posibilidades de infestación a otras fincas.



b) Bosque tropical:

Se considerado como bosque aquellas parcelas clasificadas como “bosque”, “charral” y “plantaciones forestales” y la especie objetivo empleada es la abeja sin aguijón. Se han realizado estudios de conectividad antes y después de implementar las medidas de restauración sobre las fincas cafetaleras para analizar el efecto sobre el aumento de la conectividad ecológica del **bosque tropical**. El objeto de este estudio es corroborar una disminución de la fragmentación entre los parches de bosque tropical.

6.2.3. Biología de las especies objetivo

a) Broca del café (*Hypothenemus hampei*)

La broca es un insecto holometábolo, que se caracteriza por presentar un estado de huevo, varios estados larvarios, un estado de pupa, y luego pasa a adulto (Figura 2). Presenta dimorfismo sexual en características físicas como la longitud del cuerpo, donde los machos miden entre 1 a 1,25 mm de largo y 0,5 a 0,6 mm de ancho, siendo más pequeños que las hembras (1,37 a 1,82 mm de largo, y 0,62 a 0,80 mm de ancho). Los machos tienen las alas membranosas que no les permiten volar (Damon 2000, Oviedo 2006). El macho de la broca vive de 20 a 87 días y permanece en el fruto. Su función principal es fecundar a la hembra entre 3 y 5 días después de que ésta emerge (Mathieu et ál. 1997, Oviedo 2006). La hembra de la broca puede vivir hasta 157 días (Damon 2000).

Estudios en condiciones de laboratorio encontraron que la hembra de la broca puede volar libremente desde una hora y media y hasta más de tres horas en vuelos sucesivos. Puede alcanzar distancias hasta de 400 m sin ayuda del viento, volando hasta 22 minutos corridos sin descanso y hasta 100 minutos con pausas intermedias, aunque en general, el vuelo es lento y en forma vertical hasta que encuentra corrientes de aire que la arrastran hacia otros sitios (Baker 1984).



El ciclo de vida de la broca, comienza cuando la hembra fecundada perfora el área de la corona del grano construyendo un túnel hacia el interior para depositar sus huevos (entre 31 y 119 por fruto). 4 días después de la oviposición emergen las larvas que duran aproximadamente 15 días alimentándose de la semilla del fruto (Damon 2000). Su tamaño oscila entre 1,17 a 2,3 mm de largo y 0,37 a 0,58 mm de ancho, las larvas son ápodas (no tienen patas), con mandíbulas fuertes y su cuerpo está cubierto por grandes setas. Las hembras pasan por tres estados larvarios y el macho por dos, siendo estos generalmente los que primero nacen y completan su desarrollo (Oviedo 2006).

Posteriormente las larvas se convierten en pupas que permanecen en reposo por un lapso de 7 días, antes de emerger los adultos (Damon 2000). Las pupas son parecidas a las larvas, pero se diferencian por su inmovilidad; la pupa de la hembra mide de 1,37 a 1,93 mm de largo y 0,51 a 0,82 mm de ancho; el macho es más pequeño y mide 1,3 mm de largo y 0,55 mm de ancho, las hembras pasan por dos procesos de muda y el macho por uno. Aunque una hembra puede salir fecundada a buscar nuevos frutos, en ocasiones se queda y puede llegar a poner entre 15 a 60 huevos, este comportamiento explica porque en un fruto se puedan encontrar hasta 82 adultos (Oviedo 2006).

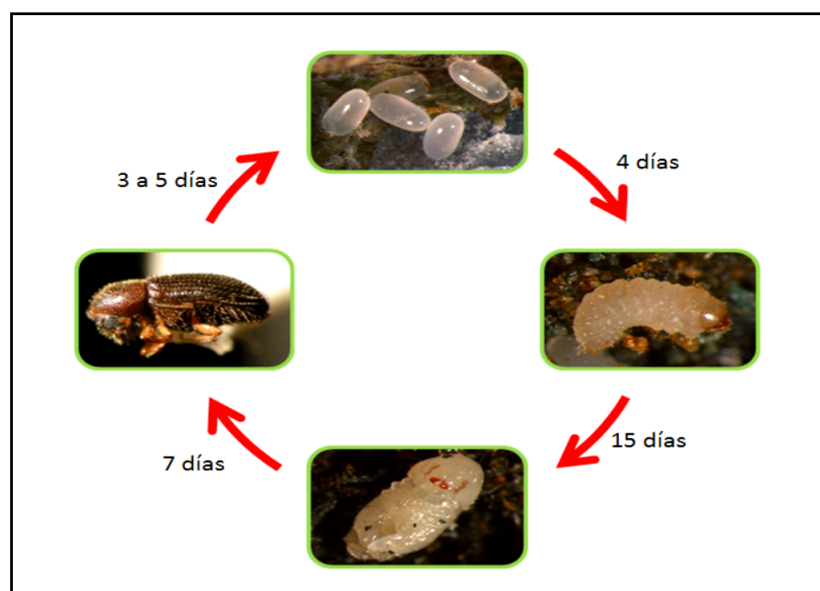


Figura 4. Ciclo de vida de *H. hampei*. Fuente: www.nbaii.res.in



b) Abejas sin aguijón

La tribu Meliponini pertenece al grupo de abejas corbiculadas de la subfamilia Apinae y agrupa todas aquellas abejas conocidas como “abejas sin aguijón” encontradas en las áreas tropicales y subtropicales del mundo (Roubik 1989). Su tamaño varía desde aproximadamente 2 mm (*Leurotrigona pusilla*, Moure *et al.* 1988) hasta 1,5 cm (género *Melipona*, Michener 2000). Junto con las abejas de miel (*Apis mellifera*), son las únicas que poseen comportamiento altamente social (eusocialidad).

Existen varios cientos de especies, pero su número real es difícil de establecer debido a la abundancia de especies crípticas (Michener 1990) y razas geográficas, las cuales muchas veces difieren entre sí en caracteres muy superficiales. Las abejas sin aguijón se caracterizan principalmente por tener aguijón reducido, alas con venación débil o reducida y ojos desnudos (excepto en el género *Trichotrigona*, Camargo & Moure 1983); además construyen nidos muy característicos para albergar su cría con entradas generalmente conspicuas, las cuales, en algunos casos, sirven para identificar especies.

Para la región Neotropical, Michener (1990) reconoce 12 géneros mientras que Camargo & Pedro (1992) siguen reconociendo como géneros todos los subgéneros propuestos por Moure, además de aquellos más recientes: *Camargoia* del Amazonas brasileiro, propuesto por Moure en 1989 y revisado por Camargo en 1996 y *Melliwillea*, endémico de los bosques de niebla de Costa Rica (Roubik *et al.* 1997).

Las abejas constituyen un grupo de insectos muy importante para la dinámica de bosques y agroecosistemas. Las abejas sin aguijón (nativas de los trópicos y subtrópicos) han establecido estrechos lazos coevolutivos de interdependencia con la flora nativa de nuestros ecosistemas y son considerados unos de los principales polinizadores del Neotrópico (Roubik 1989). No obstante, la sobreexplotación de los bosques ha provocado la disminución en el número de colonias (todas las especies), siendo éste uno de los muchos efectos negativos de la degradación ambiental (Kearns *et al.* 1998). En las zonas tropicales las abejas melíferas (*Apis mellifera*) se han integrado a los sistemas de producción (Svensson, 1991).

Debido a que los sistemas agroforestales pueden incluir muchas especies (ambientes multiflorales) por la mayor diversidad, comparado con monocultivos o reforestaciones



tradicionales (Hill y Webster 1995; Méndez 1999), las abejas podrían ofrecer una serie de ventajas, como asegurar la polinización y en consecuencia la producción de cosechas y semillas viables, producción de miel y un mayor balance y diversidad ecológica. A su vez, las abejas al tener fuentes adecuadas de alimento, protección y nuevos nichos (Heard 1999) podrían aumentar sus poblaciones y sus beneficios. Aunque la investigación para introducir polinizadores de cultivos, diferentes a la abeja melífera no es nuevo, sólo hasta hace poco tiempo ha adquirido mayor importancia.

Las abejas sin aguijón se han utilizado en forma experimental para la polinización de cultivos al aire libre y bajo condiciones de invernadero; por ejemplo en Japón, *Nannotrigona testaceicornis* se ha utilizado para polinizar la fresa, en Costa Rica *Trigona* (*Tetragonisca angustula*) para polinizar la *Salvia farinacea*, en México *Partamona bilienata* para polinizar Cucurbitáceas y en Australia especies de *Trigona* para la polinización de Macadamia.

Las abejas sin aguijón poseen una organización social, viven en colonias permanentes y se multiplican a través de enjambres, lo cual las posibilita de reclutar muchos individuos de una misma colonia, cuando se tienen las condiciones adecuadas (suficiente alimento). De ellas se conocen cerca de 400 especies, de las cuales más de 300 se encuentran en América y facilitan la polinización de la mayoría de las plantas cultivadas (Velthuis 1997, Heard 1999)



Nombre común	Nombre científico	Polinizadores
Achiote	<i>Bixa orellana</i>	<i>M. rufiventris</i> , <i>M. melanoventer</i> y otras
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Abejas
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Abejas, trigonas
Ajo	<i>Allium sativum</i>	Abejas, <i>Apis</i> spp, moscas
Ayote	<i>Cucurbita moschata</i>	Abejas,
Café	<i>Coffea arabica</i>	Abejas, moscas, <i>Apis</i> spp, Meliponas
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	<i>Melipona fava</i> y Trigonas
Cardamomo	<i>Elettaria cardamomum</i>	Abejas, <i>Apis</i> spp
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Abejas, <i>Apis</i> spp, moscas
Chayote	<i>Sechium edule</i>	<i>Trigona corvina</i> , <i>Partamona cupira</i> y otras
Chile	<i>Capsicum</i> spp	Abejas
Cítricos	<i>Citrus</i> spp	Abejas, <i>Apis</i> spp
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	<i>Apis</i> spp y <i>Melipona</i> spp.
Durazno	<i>Prunus persica</i>	Abejas
Espárrago	<i>Asparagus officinalis</i>	Abejas, <i>Apis</i> spp
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	Abejas, <i>Apis</i> spp Meliponas
Guaba	<i>Inga edulis</i>	Abejas, y otros insectos
Guayava	<i>Psidium guajava</i>	Abejas, meliponas
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Abejas, moscas
Macadamia	<i>Macadamia integrifolia</i>	<i>Apis</i> spp, Trigonas y otras
Mango	<i>Mangifera indica</i>	<i>T. (Tetragonisca) angustula</i> y otras
Manzana rosa	<i>Syzygium jambos</i>	Abejas
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	Abejas
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>	Abejas
Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	Abejas, <i>Apis</i> spp
Tacaco	<i>Sechium tacaco</i>	Abejas, trigonas
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	Abejas, bombus, Meliponas
Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	Abejas
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	Abejas, <i>Apis</i> spp, moscas
Zapallo	<i>Cucurbita pepo</i>	Abejas

Tabla 1. Cultivos donde las abejas sin aguijón realizan una importante contribución a la polinización.
Fuente: Polinización de cultivos en los trópicos. David Roubik Editor. 1995. FAO



6.3. METODOLOGÍA

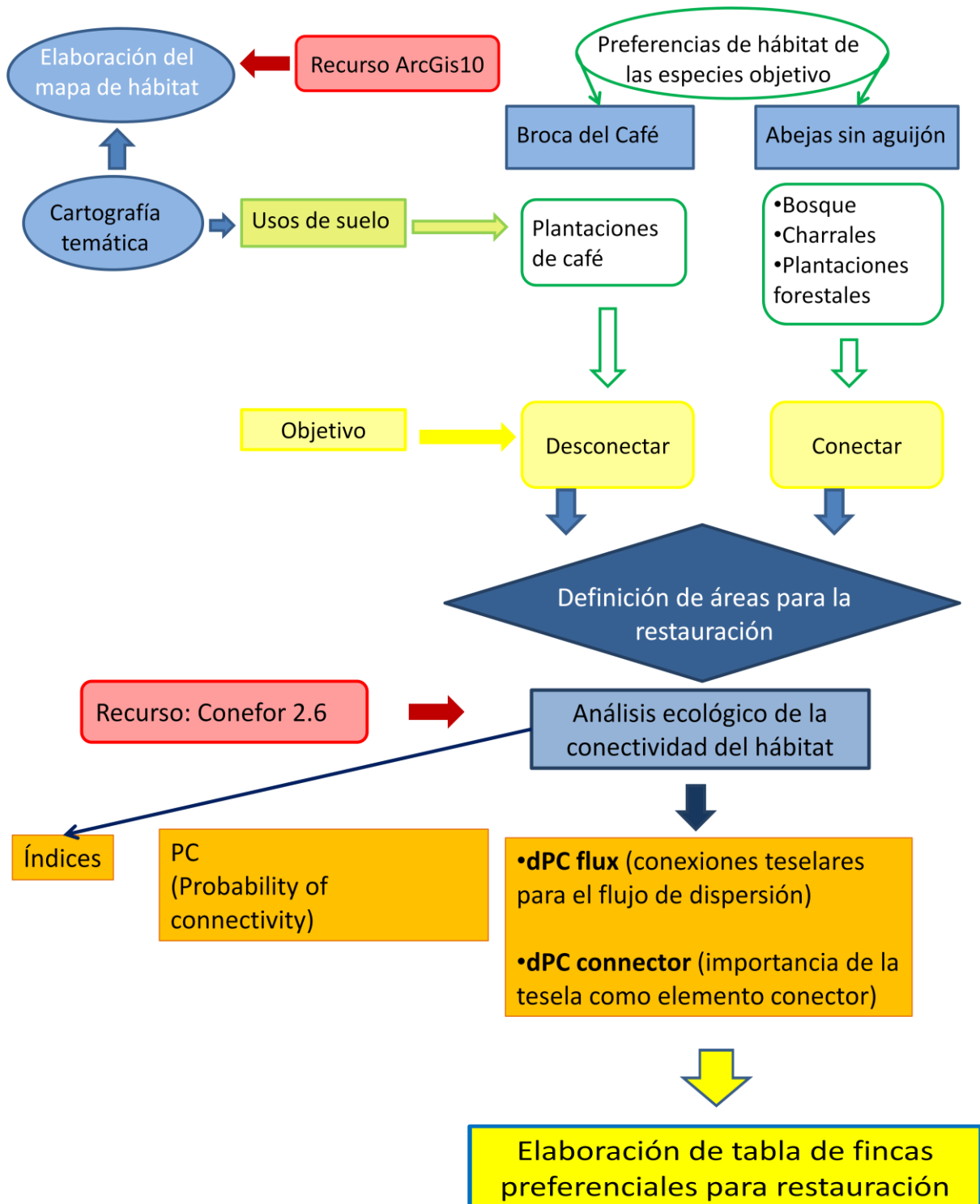


Figura 5. Metodología. Fuente: Elaboración propia.



Los pasos de la metodología empleada se pueden resumir de la siguiente forma:

1. Determinar las teselas de cafetal (hábitat de la broca) que más contribuyen a la conectividad. Para ello se utilizan los índices dPC intra flux y connector de cada tesela, que para cada una indican cuánto disminuye el valor de PC en términos relativos (global) si se eliminara dicha tesela.
2. Proponer nuevas teselas de bosque alrededor de las teselas seleccionadas anteriormente, de forma que la dispersión de la broca desde estas teselas que contribuyen en mayor medida a la conectividad de su hábitat se vea dificultada.
3. Determinar otras posibles nuevas teselas de bosque, teniendo en cuenta en todo caso que es preferible que estén próximas a cafetales.
4. Determinar los efectos de las teselas propuestas en los puntos 3 y 4 sobre la conectividad del bosque, y disponibilidad de hábitat para las abejas. Estas teselas pueden ordenarse de mayor a menor contribución a la conectividad en caso de ser convertidas en bosque utilizando nuevamente los índices dPC intra, flux y connector. En este caso los valores de dPC para cada tesela indican cuánto aumentaría el valor (global) de PC en caso de que esa tesela pasara a ser hábitat. Esto debe hacerse seleccionando la opción "There are nodes to add" en Conefor. En el manual se indica al respecto:



6.4. PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS FINCAS CAFETALERAS

Para realizar el mapa de hábitat de la Broca del café se asumieron como teselas de hábitat hábitat todas las fincas cuyo uso de suelo son las plantaciones de café. En principio, la broca sobrevive y se reproduce exclusivamente en frutos de diferentes especies de café, entre ellas *C. arabica*, *C. liberica* y *C. canephora*. Los frutos de café proporcionan alimento a todos los estadios de esta plaga, asimismo proporciona el medio necesario para su crecimiento y reproducción. Por tanto ha sido considerada como una especie monófaga; es decir que su abundancia está determinada por la disponibilidad de frutos de café aptos para la reproducción y alimentación (Ticheler, 1,961).

Se ha seleccionado un área de aproximadamente 20km x 20km dentro del cantón de Turrialba, en el que se encuentran la mayor parte de las fincas cafetaleras de la zona, quedando excluidas dos fincas cuya superficie es inferior a una hectárea al sureste de la zona elegida por no ser representativos para el estudio.

Se aislaron las plantaciones de café mediante ArcGis y se consideraron desconectadas aquellas parcelas situadas a una distancia igual o mayor de 400 metros. Esta distancia se ha obtenido de estudios en condiciones de laboratorio en los que la hembra de la broca puede volar libremente desde una hora y media y hasta más de tres horas en vuelos sucesivos (ver apartado “6.2.3. Biología de las especies objetivo”)

La distancia mediana de dispersión de la broca, correspondiente a una probabilidad de 0.5, se ha fijado en 5 metros, basándonos en los resultados de estudios anteriores (Montes K, 2012) que concluyeron la distancia máxima (probabilidad próxima a 0) que recorre la broca fuera del cafetal y dentro del bosque variaba según localidades entre los 5,16 m, 6, 76 y 10,76 m.

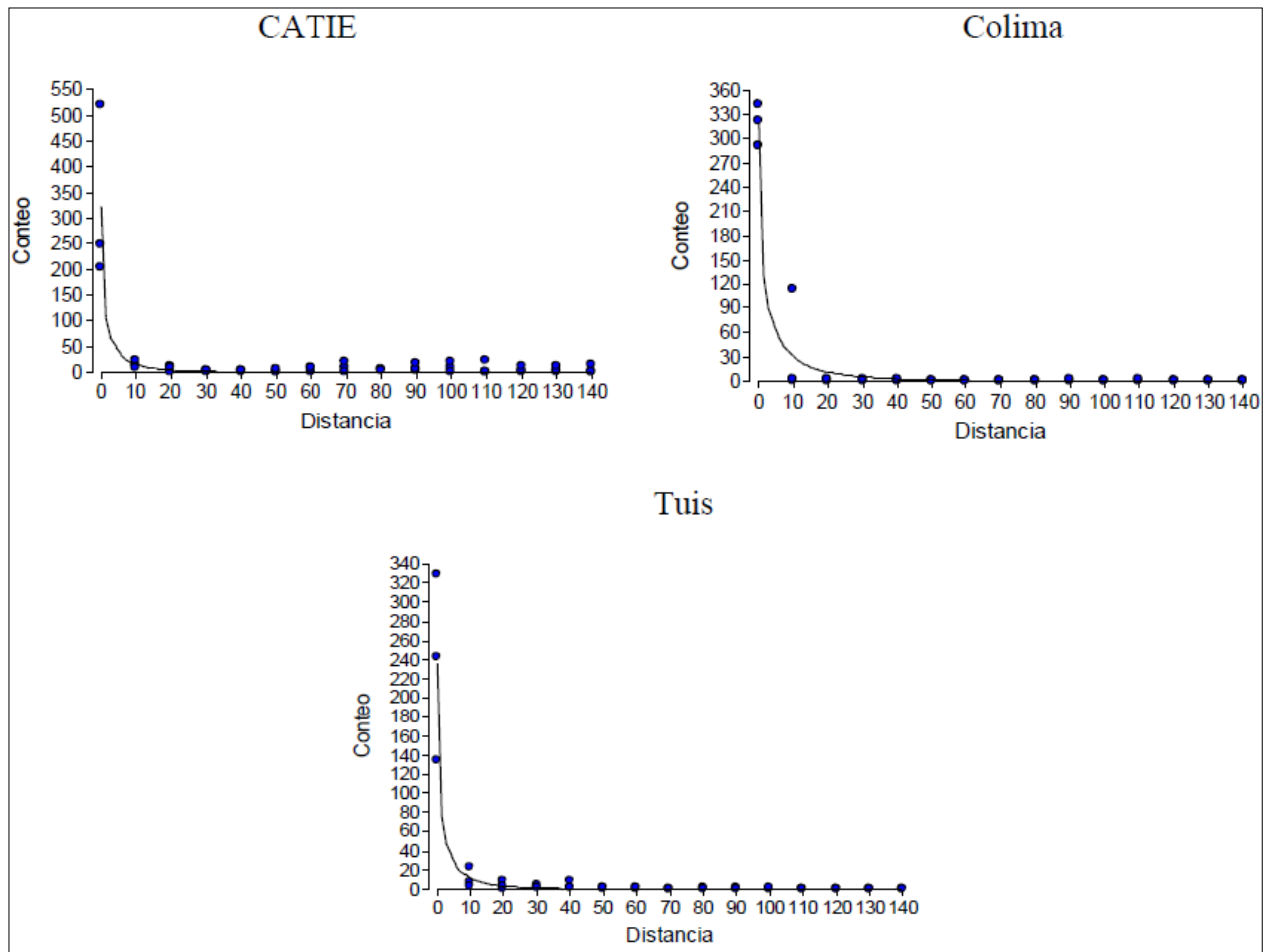


Figura 6. Frecuencias de conteos totales por trampa vs. distancias con el correspondiente ajuste obtenido del mejor modelo para el tipo de uso Bosque, en las localidades CATIE, Colima y Tuis. Fuente: Montes K., 2012.

Con los parámetros de dispersión expuestos se realiza un estudio con el software 2.6CONEFOR, que analiza la conectividad en base a la teoría de grafos, estableciendo nodos (vértices) y links entre cada nodo de las teselas de hábitat, en base a la característica de dispersión de la especie. Se han empleado los índices dPCflux y dPC connector, definidos y calculados en base a los estudios publicados de Conefor Sensinode 2.2 y Conefor 2.6 (Saura y Pascual-Hortal, 2007; Saura y Rubio, 2010; Saura, 2009)

Se han ordenado los datos de mayor a menor según el valor de la suma de dPCflux + dPCconnector. De esta forma se ofrece la priorización de las teselas según su contribución a la conectividad del hábitat. Partiendo de estos resultados se han seleccionado las 9 fincas de café que contribuyen en mayor medida a la conectividad.



6.5. Medidas de restauración

Se propone la implantación de un área circular alrededor de las fincas de café seleccionadas, a modo de anillo. Las dimensiones del área serán de 10 metros de ancho por un perímetro equivalentes al perímetro de la finca sobre la que se aplica. En ella se plantará una cerca viva, compuesta por especies arbóreas propias del bosque húmedo y seleccionadas con objetivo triple:

1. Actuar de vallado aumentando la fricción que presenta el paisaje al avance de la broca. De esta forma se trata de impedir la transmisión de la Broca a fincas cercanas y la infestación de plantas sanas.
2. Servir de hábitat a las abejas sin aguijón como especie objetivo y a otras especies animales propias del bosque húmedo, aumentando la superficie disponible de bosque y las conexiones entre las teselas remanente.
3. Ayudar a la producción de café mediante la selección de aquellas especies arbóreas que mejor contribuyan en el entorno agrícola (proporcionar sombra, hojarasca...)

Especie árbol/substrato nidos	Especie de abeja	País	Importancia
<i>Albizia caribensis</i> ^A	<i>M.compressipes</i> , <i>Scaptotrigona</i> sp., <i>Nannotrigona</i> sp.	Venezuela	ND
<i>Anacardium excelsum</i> ^B	<i>Scaptotrigona pectoralis</i>	Costa Rica	N,1,3
<i>Bravaisia integerrima</i> ^B	<i>S. pectoralis pectoralis</i>	Costa Rica	N,P,2
<i>Bursera simaruba</i> ^C	<i>M.beecheii</i>	Costa Rica	P,1,2,3
<i>Clarisia biflora</i> ^B	<i>S. pectoralis pectoralis</i> , <i>Oxytrigona mellicolor</i> , <i>T. (Tetragonisca) angustula</i>	Costa Rica	ND
<i>Cordia alliodora</i> ^B	<i>T. (Tetragona) dorsalis ziegleri</i> , <i>T. (Tetragonisca) angustula</i> , <i>N. testaceicornis perilampoides</i>	Costa Rica	P,N,1,2,3
<i>Diphysa americana</i> ^B	<i>T. (Tetragonisca) angustula</i>	Costa Rica	N,P,1,3
<i>Ficus</i> sp. ^B	<i>Scaptotrigona pectoralis</i> , <i>M.beecheii</i>	Costa Rica	3
<i>Ficus trachelosyce</i> ^B	<i>Trigona (Tetragonisca) angustula</i>	Costa Rica	ND
<i>Gliricidia sepium</i> ^B	<i>T. (Tetragonisca) angustula</i>	Costa Rica	N,1,2,3
<i>Lonchocarpus lasiotropis</i> ^B	<i>N. testaceicornis perilampoides</i>	Costa Rica	ND
<i>Lonchocarpus pictus</i> ^A	<i>M.compressipes</i> , <i>Trigona</i> sp.	Venezuela	P,N,1,2
<i>Myrospermum frutescens</i> ^B	<i>T. (Cephalotrigona) capitata</i> , <i>Oxytrigona mellicolor</i>	Costa Rica	N,1,3
<i>Pithecellobium saman</i> ^A	<i>Melipona compressipes</i> , <i>Scaptotrigona</i> sp., <i>M.favosa</i> , <i>Nannotrigona</i> sp.	Venezuela	N,1,3
<i>Psidium guajava</i> ^C	<i>Tetragona</i> sp	Costa Rica	P,1,3
<i>Spondias mombin</i> ^A	<i>M.compressipes</i>	Venezuela	P,N,1,2
<i>Tabebuia ochracea</i> ^B	<i>T. (Cephalotrigona) capitata</i>	Costa Rica	N,1,3

Tabla 2. Especies forestales utilizadas por las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponinae) como substrato para establecer sus nidos e importancia alimenticia para las abejas y otros usos. N: néctar, P: polen, ND: no hay datos, 1: abejas sin aguijón, 2: *Apis mellífera*, 3: maderable y otros usos. País: lugar donde se reportó la especie forestal y las especies de abejas respectivas. Fuente: Van Nieuwstad (1994).



Consultando diversas fuentes como CINAD (Instituto de Investigaciones Apícolas Tropicales), ICAFE (Instituto del Café en Costa Rica) y la Agencia Internacional de Certificación de café orgánico. Se han seleccionado las siguientes especies que cumplen al menos uno de los objetivos expuestos al inicio del apartado:

- Madero negro (*Gliricidia sepium*)
- Chakán mulato (*Bursera simaruba*)
- Guaba de caite (*Inga densiflora*)
- Ingá (*Inga edulis*)
- Laurel blanco (*Cordia alliodora*)
- Trueno (*Ligustrum lucidum*)

Para validar los resultados obtenidos en CONEFOR y las propuestas de restauración se ha entrevistado a una veintena de pequeños productores y cooperativas cafetaleras. De esta forma se da un papel protagonista al productor, teniendo la oportunidad de modificar mis propuestas de restauración en base a sus ideas o conveniencias (por ejemplo las especies de árboles que dan más o menos sombra al cultivo).

Se determinaron las coordenadas GPS de las fincas seleccionadas con el objetivo de poder localizarlas en el terreno. Se cedieron los datos al Instituto del Café (ICAFE) que facilitó un listado consistente en el nombre de la finca, el propietario, un medio para contactar con él y las características principales de la finca. De esta forma se pudieron realizar las encuestas a los productores.

Los productores encuestados apoyan la idea de la reforestación de vallas vivas siempre que puedan contar con alguna subvención que minimice los costos. También se mostraron muy interesados ya que sería una forma de poder certificar sus productos con la certificación orgánica.

Aunque la regeneración pasiva podría darse ya que el suelo del cafetal cuenta con bosques cercanos y por tanto bancos de semillas viables, y en sustrato se encuentra en perfecto estado para acoger especies forestales, se ha elegido la reforestación activa para acortar los tiempos de espera y para poder seleccionar las especies a plantar de forma más exhaustiva, atendiendo a los motivos expuestos en este apartado.



7. Resultados y discusión

Se presentan en forma de tabla (tabla xx) los valores de los índices dPCflux y dPCconnector obtenidos para cada tesela de hábitat de la broca, así como la suma de dichos índices y las hectáreas y perímetro de cada una. Los datos están ordenados de mayor a menor según el valor de la suma de dPCflux + dPCconnector. De esta forma se ofrece la priorización de las teselas según su contribución a la conectividad del hábitat, y por tanto la oportunidad de seleccionar el número de parcelas de restauración en función del presupuesto disponible.

ESELA	dPCflux	dPCconnect	dPCflux + dPCconnector	HECTAREAS	PERÍMETRO
234	0.1938	0.0002	0.1940	547.00	41372.36
17	0.1748	0.0000	0.1748	5.00	1374.45
27	0.0524	0.0000	0.0524	38.99	4736.69
99	0.0524	0.0000	0.0524	96.27	10286.39
237	0.0461	0.0001	0.0462	39.36	6121.24
236	0.0460	0.0000	0.0460	18.23	2138.94
111	0.0427	0.0000	0.0427	40.20	4304.56
110	0.0427	0.0000	0.0427	16.61	2672.82
32	0.0387	0.0000	0.0387	1075.71	55559.04
176	0.0363	0.0000	0.0363	2.21	823.78
40	0.0277	0.0000	0.0278	388.76	37348.42
189	0.0194	0.0000	0.0194	130.94	12147.25
211	0.0194	0.0000	0.0194	11.22	2581.17
212	0.0186	0.0000	0.0186	7.26	1481.39
246	0.0173	0.0000	0.0173	422.84	18731.51
155	0.0114	0.0000	0.0114	127.50	12811.52
26	0.0113	0.0000	0.0113	86.23	13632.33
37	0.0112	0.0000	0.0112	2.03	790.19
93	0.0102	0.0000	0.0102	24.10	5719.44
228	0.0098	0.0000	0.0098	407.46	32860.56
109	0.0082	0.0000	0.0082	363.29	23497.49
95	0.0082	0.0000	0.0082	7.77	1766.45
73	0.0079	0.0000	0.0079	8.06	1773.28
171	0.0062	0.0000	0.0062	10.52	1569.41
42	0.0057	0.0000	0.0057	57.38	5534.26
30	0.0057	0.0000	0.0057	7.94	1864.10



TESELA	dPCflux	dPCconnect	dPCflux + dPCconnector	HECTAREAS	PERÍMETRO
114	0.0032	0.0000	0.0032	19.84	2775.37
115	0.0032	0.0000	0.0032	2.53	885.40
219	0.0024	0.0000	0.0024	4.29	1176.09
112	0.0020	0.0002	0.0022	4.98	1851.83
113	0.0020	0.0000	0.0020	5.75	1681.99
52	0.0020	0.0000	0.0020	264.56	27360.94
154	0.0019	0.0000	0.0019	10.06	1725.30
194	0.0018	0.0000	0.0018	26.43	2765.91
24	0.0013	0.0005	0.0017	3.52	1228.74
231	0.0013	0.0000	0.0013	349.27	24491.82
141	0.0011	0.0000	0.0011	5.78	1273.42
135	0.0010	0.0000	0.0010	6.97	1961.21
151	0.0010	0.0000	0.0010	9.75	2853.73
38	0.0009	0.0000	0.0009	9.90	2376.23
172	0.0008	0.0000	0.0008	160.65	13096.48
221	0.0008	0.0000	0.0008	4.63	916.67
149	0.0007	0.0000	0.0007	3.98	1394.07
84	0.0006	0.0000	0.0006	49.19	6275.95
128	0.0006	0.0000	0.0006	10.74	1890.18
240	0.0004	0.0000	0.0004	2.46	739.06
244	0.0004	0.0000	0.0004	2.46	739.06
163	0.0004	0.0000	0.0004	15.05	4029.95
59	0.0003	0.0000	0.0003	5.42	1476.83
130	0.0003	0.0000	0.0003	60.65	9150.74
146	0.0002	0.0000	0.0002	25.39	2538.09
167	0.0002	0.0000	0.0002	35.59	3388.51
45	0.0002	0.0000	0.0002	12.30	1735.74
71	0.0002	0.0000	0.0002	7.77	2315.19
175	0.0001	0.0000	0.0001	52.95	6689.91
185	0.0001	0.0000	0.0001	0.04	142.60
31	0.0001	0.0000	0.0001	324.65	19401.13
89	0.0001	0.0000	0.0001	8.02	1347.16
125	0.0001	0.0000	0.0001	5.17	1525.50
235	0.0001	0.0000	0.0001	134.60	14575.34
53	0.0001	0.0000	0.0001	26.93	2640.18
25	0.0001	0.0000	0.0001	5.75	1114.90
238	0.0001	0.0000	0.0001	11.58	3177.88
55	0.0001	0.0000	0.0001	16.53	2598.72
243	0.0001	0.0000	0.0001	0.00	84.59

Tabla 3. Presentación de las parcelas cafetaleras ordenados de mayor a menor según el valor de la suma de dPCflux + dPCconnector. Fuente: elaboración propia.

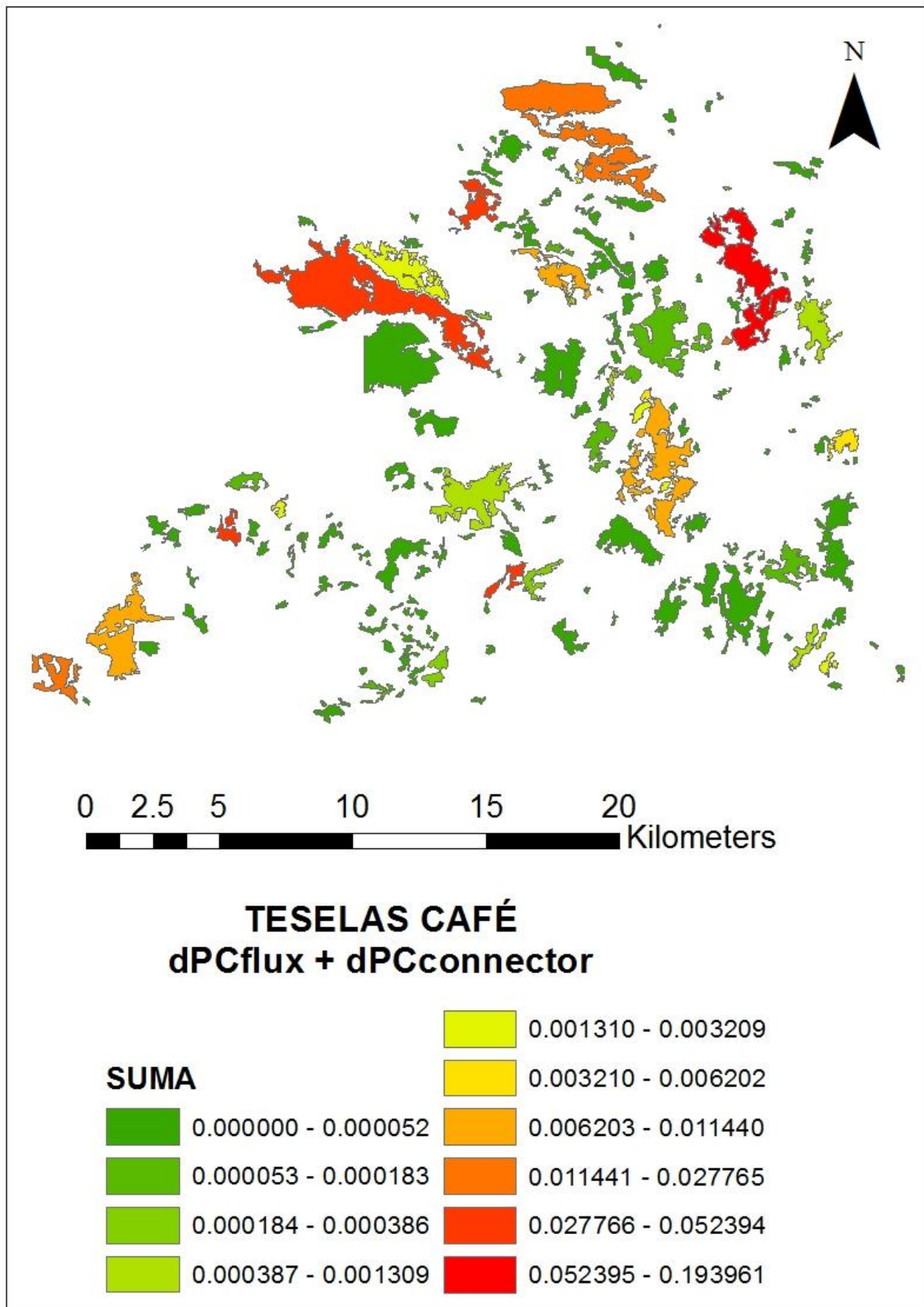


Figura 7. Representación del índice dPCflux+ dPCconnector para el hábitat de la Broca (parcelas de café) de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m. Fuente: elaboración propia.

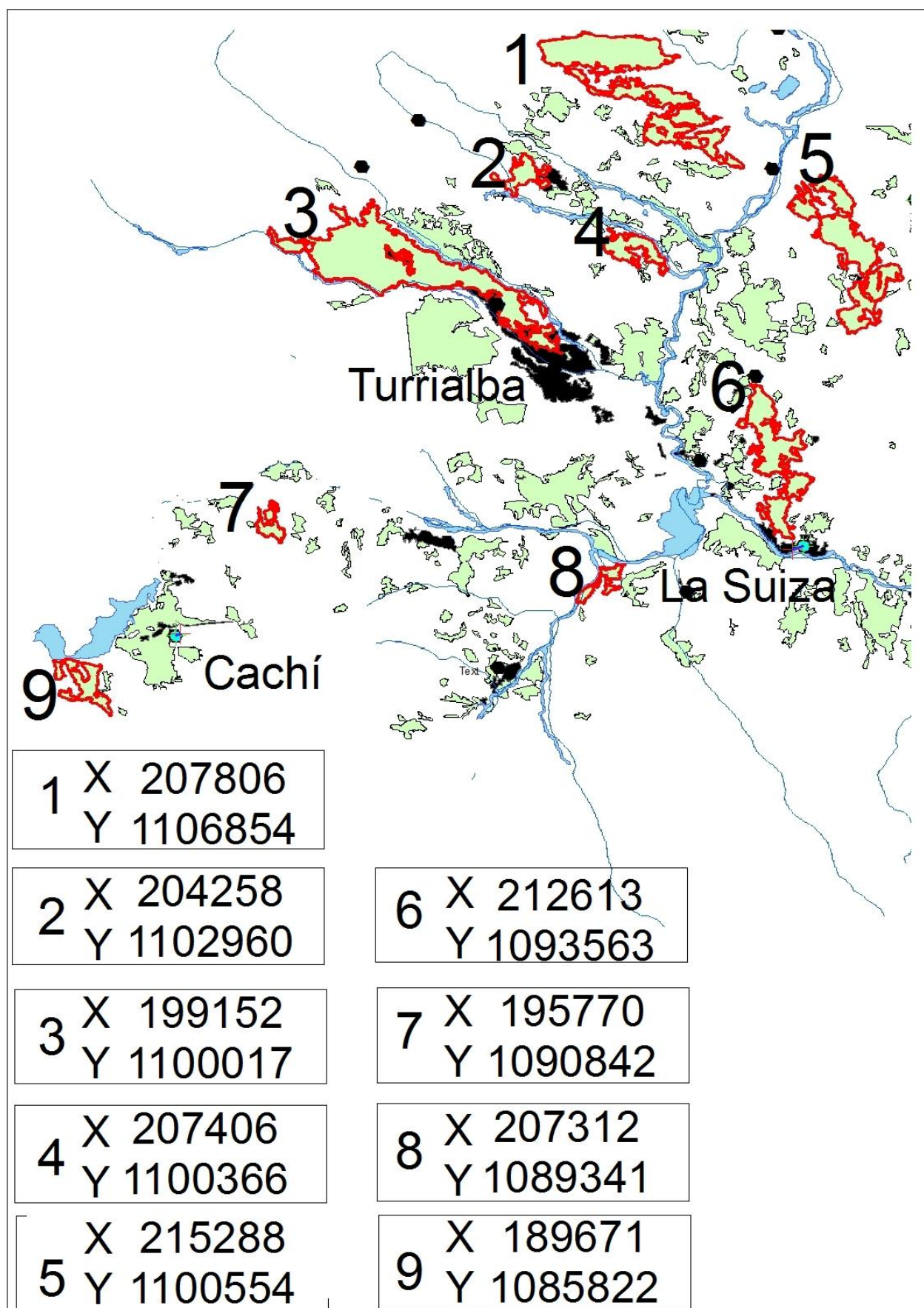


Figura 8. Localización de las parcelas seleccionadas para restauración y coordenadas de las mismas para poder identificarlas en la base de datos del ICAFE. Fuente: elaboración propia.

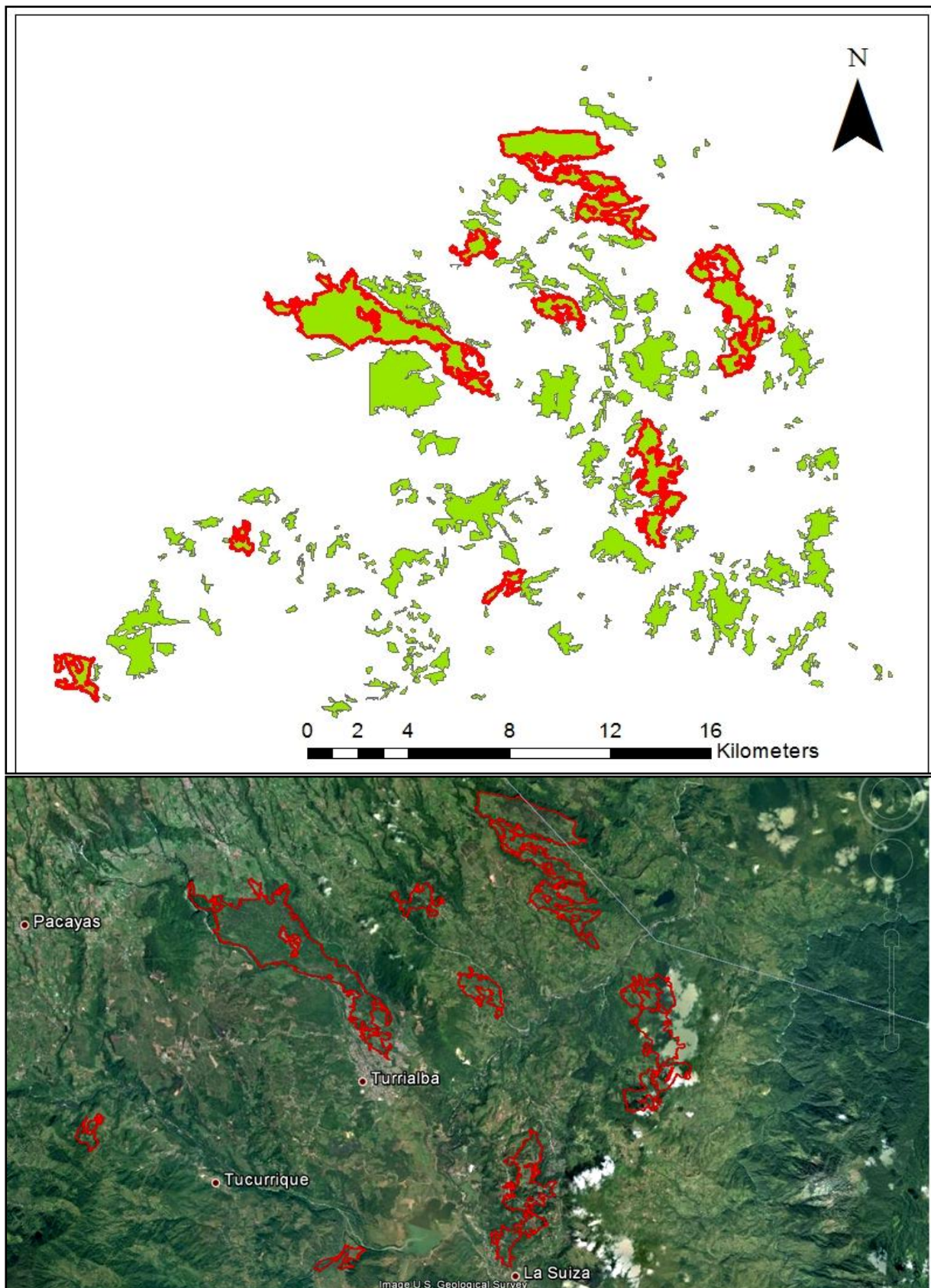


Figura 9. Localización espacial mediante foto satélite de las parcelas de restauración..
Fuente: elaboración propia.

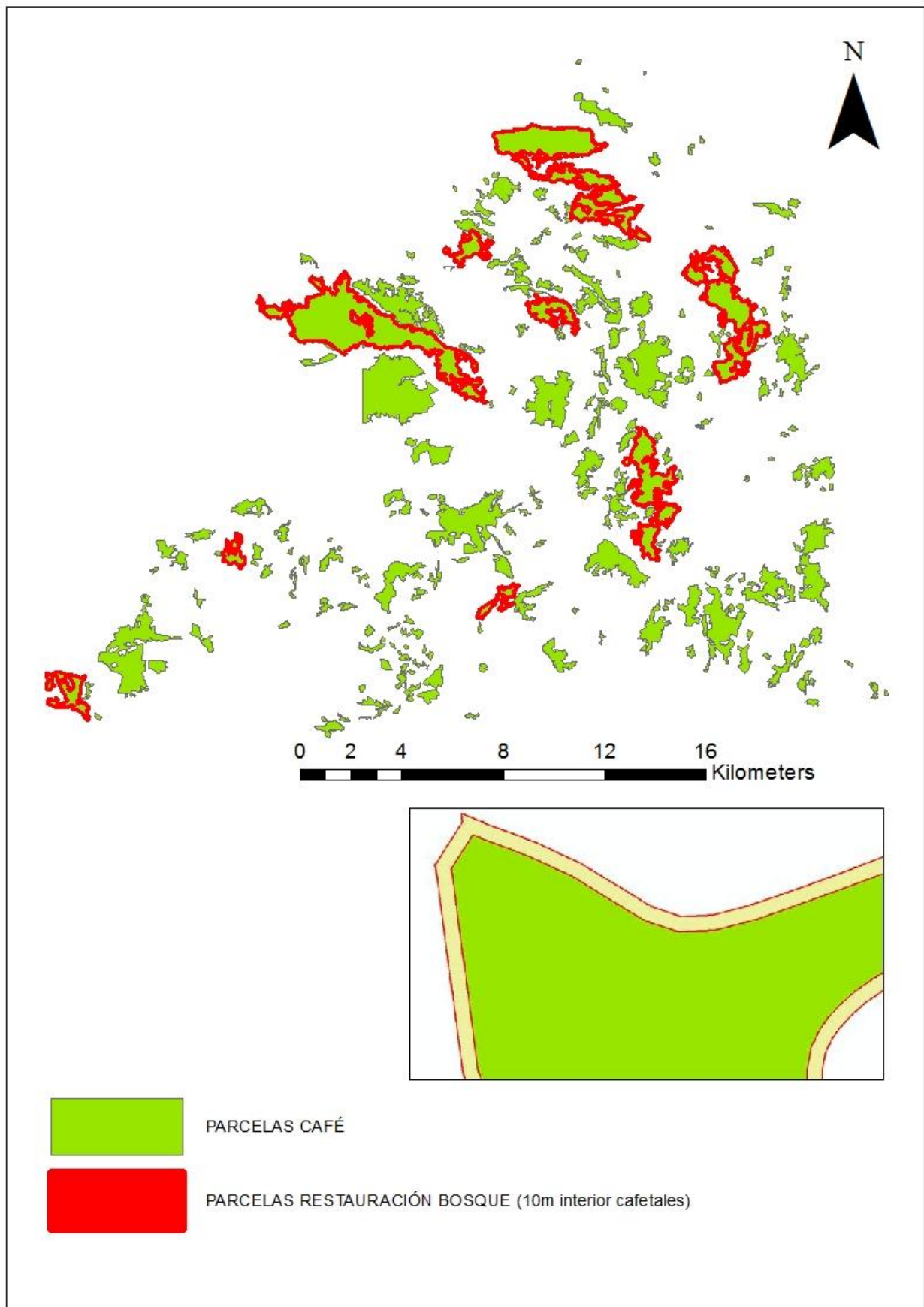


Figura 10. Situación de las parcelas de restauración y detalle de la forma de anillo que forman rodeando las teselas de café claves. Fuente: elaboración propia.

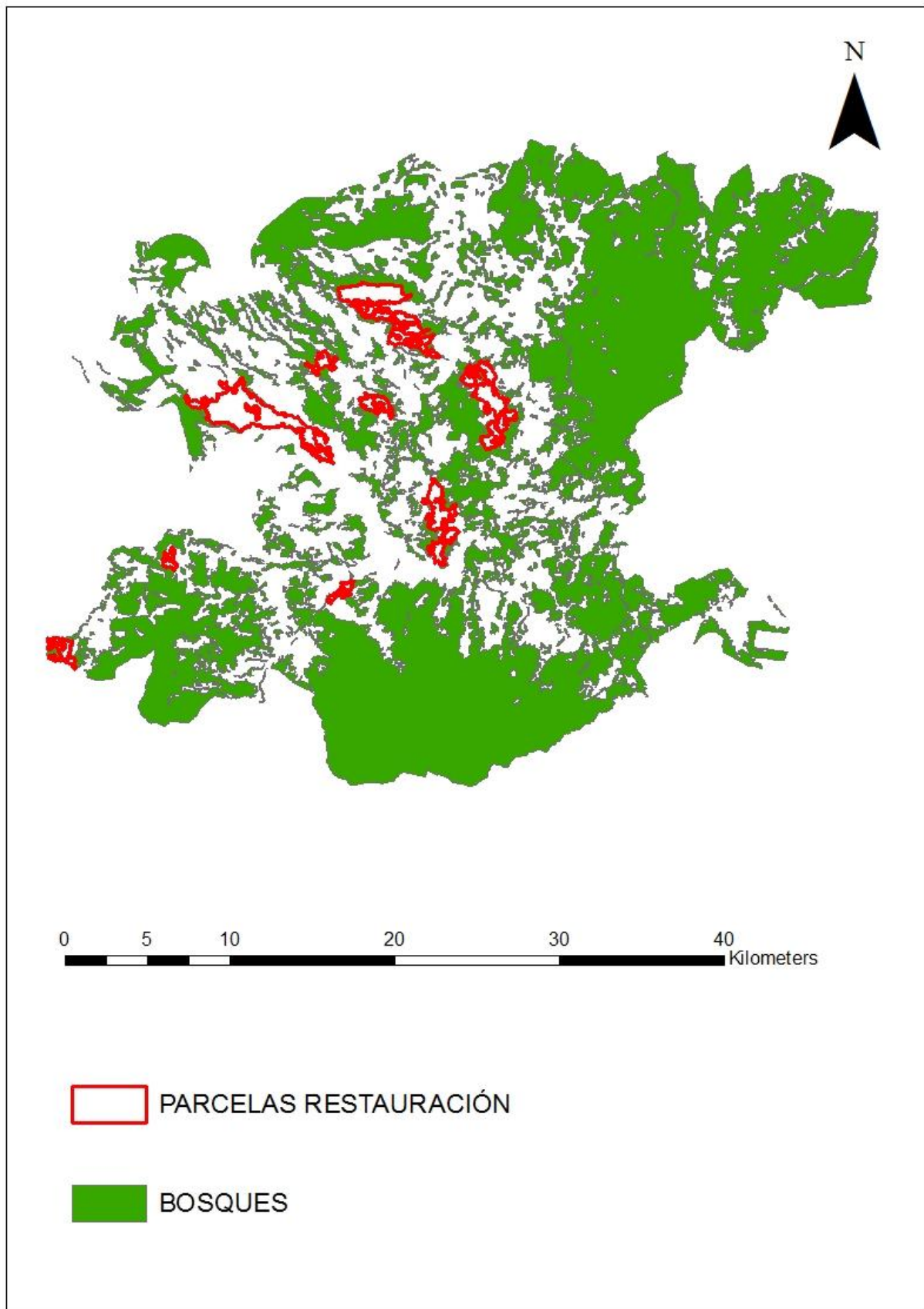


Figura 11. Localización de las parcelas de restauración (nuevas parcelas de bosque).
Fuente: elaboración propia.

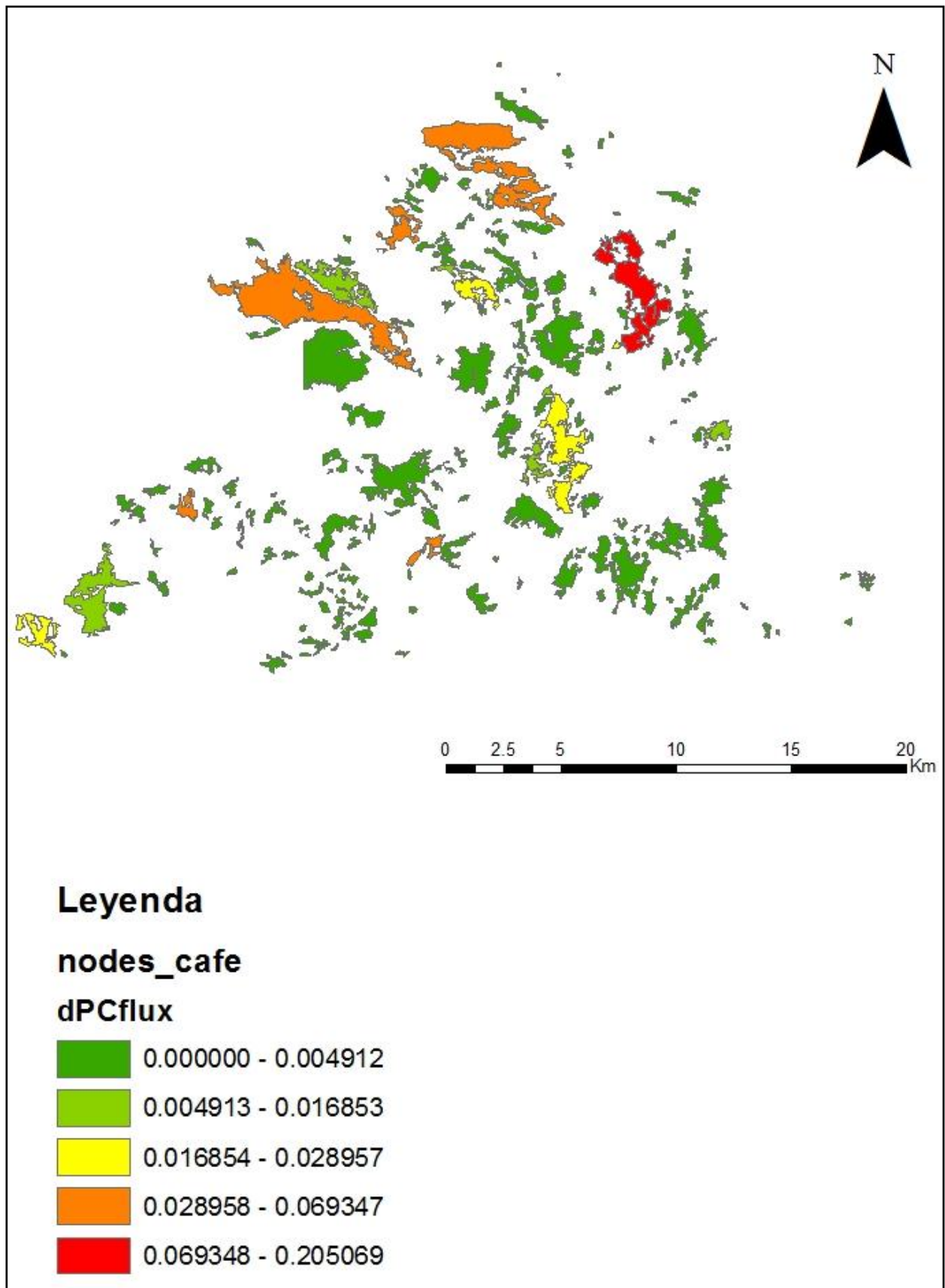


Figura 12. Representación del índice dPCflux para el hábitat de la Broca antes de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.
Fuente: elaboración propia.

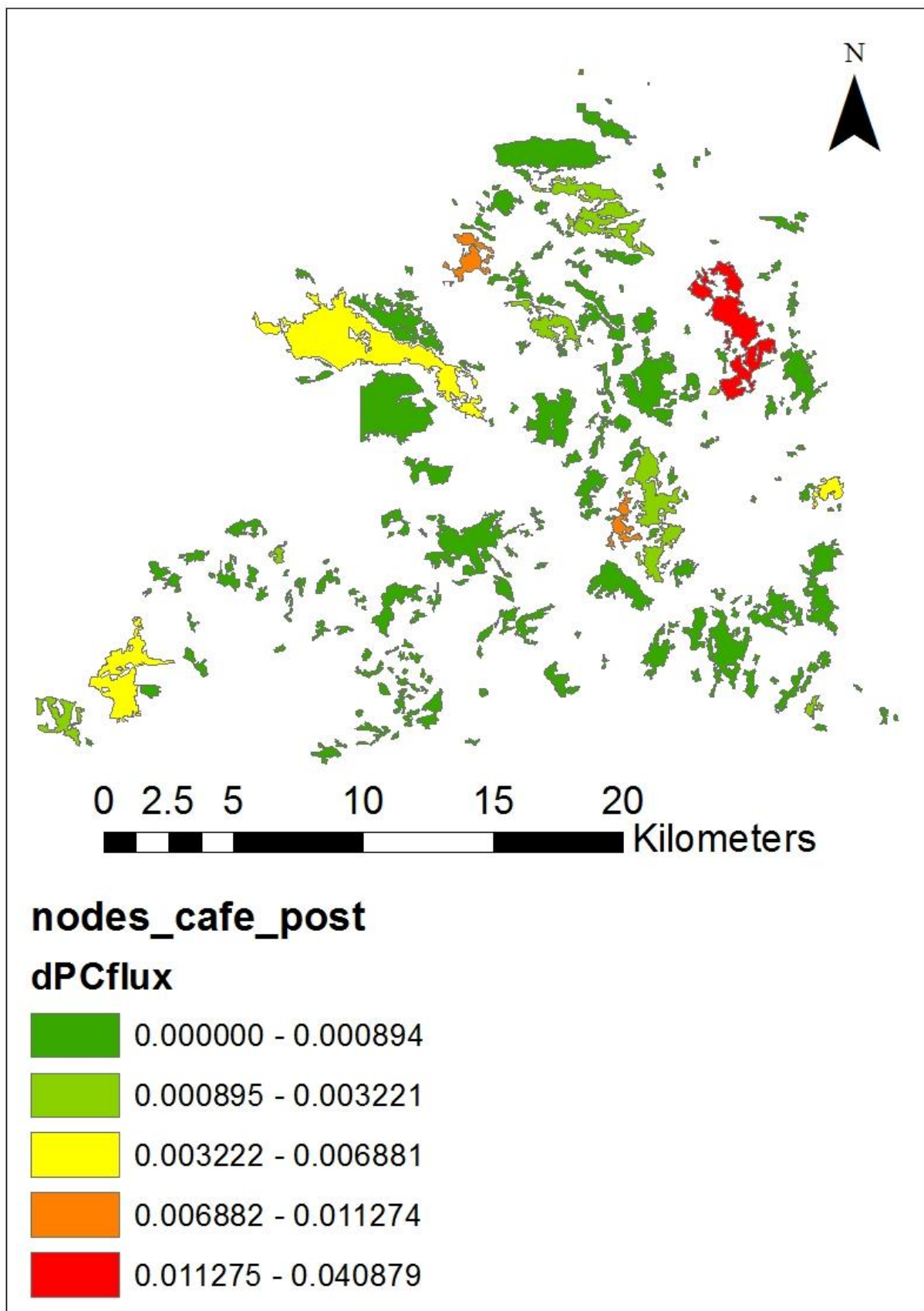


Figura 13. Representación del índice dPCflux para el hábitat de la Broca después de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.
Fuente: elaboración propia.

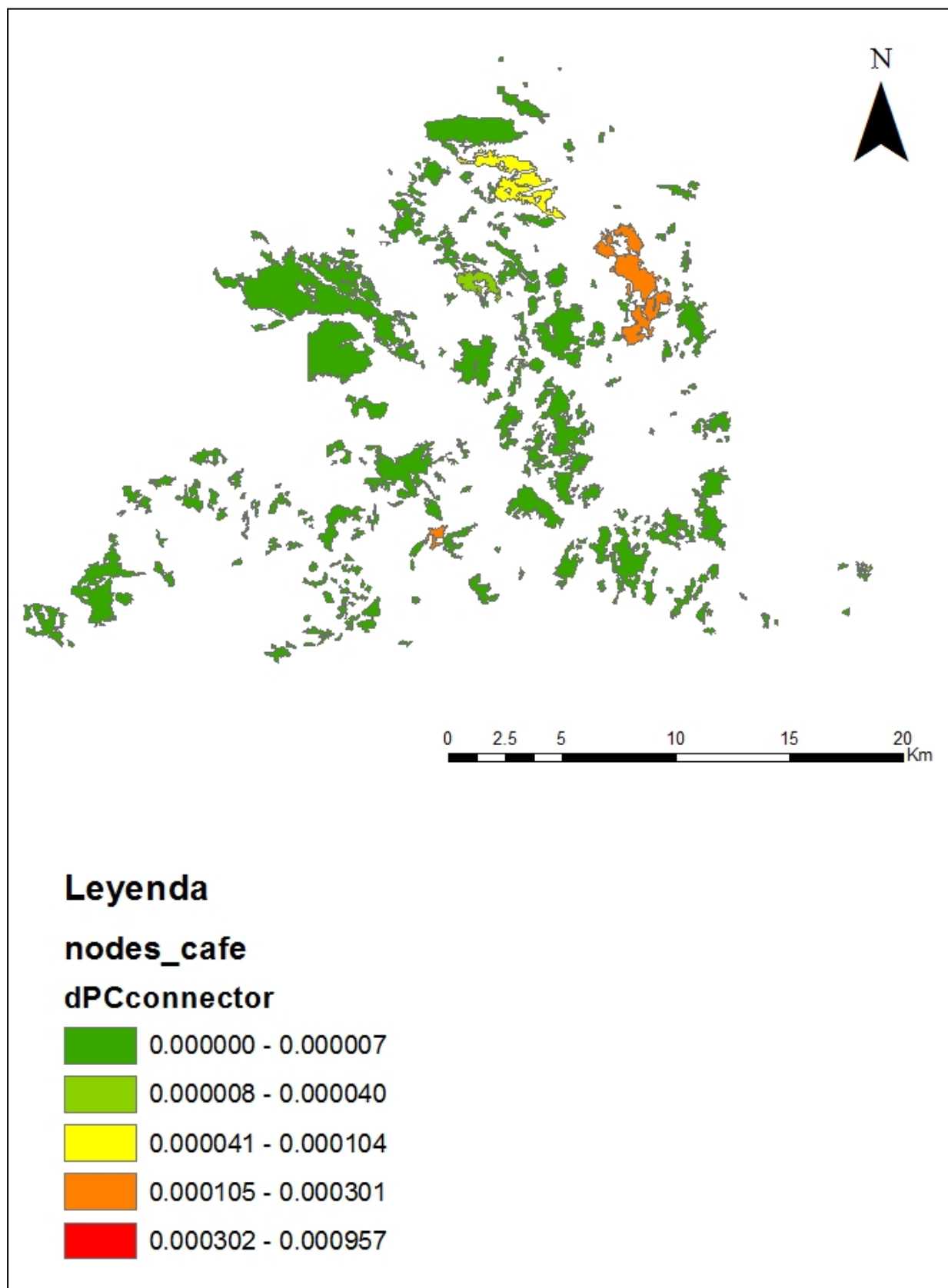


Figura 14. Representación del índice dPCconnector para el hábitat de la Broca antes de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m. Fuente: elaboración propia.

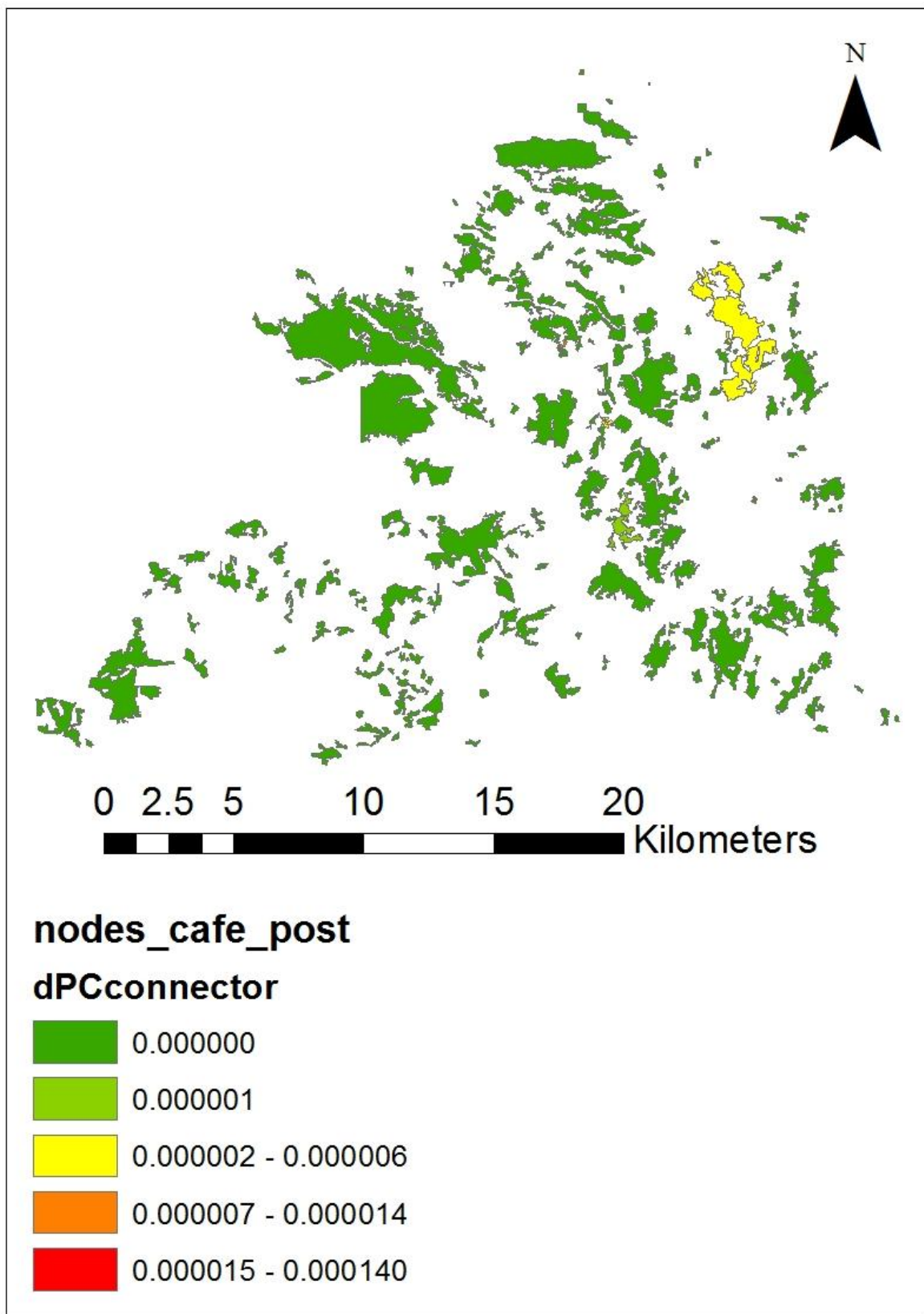


Figura 15. Representación del índice dPCconnector para el hábitat de café después de implementar las medidas de restauración. Distancia mediana 5 metros. Distancia máxima 400m.
Fuente: elaboración propia.



8. Conclusiones

- Un trabajo con CONEFOR ha permitido establecer cuáles son las fincas cafetaleras que mayor conectividad aportan al hábitat de la Broca.
- La disposición de cercas vivas o barreras perimetrales alrededor de las plantaciones cafetaleras seleccionadas previamente provoca una disminución teórica del traspaso de la Broca a fincas cercanas del 80%. (Reducción del valor máximo del índice dPCflux del 80%, pasando de un valor de 0.250 a 0.040)
- La ecología del paisaje y los estudios de conectividad ecológica pueden ser empleados con éxito en el manejo de plagas agrícolas, produciendo un doble efecto beneficioso al aumentar la superficie de los bosques.
- La correcta interacción entre agricultura y conservación de la naturaleza son vital importancia en países cuyo capital proviene en gran parte de la exportación de productos agrícolas.

8.1. RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS POSTERIORES

- Calcular el valor de los usos de suelo en función de la fricción que ofrecen a la dispersión de *H. hampei* o como posibles hospederos.
- Posible taller con los productores para presentar las medidas de restauración.
- Manual de prácticas a implementar para obtener un resultado efectivo y económicamente viable resultado de encuentros con los agricultores.
- Distinta probabilidad de conectividad entre los parches de hábitat en función del uso de suelo.



9. Bibliografía

- Aguilar I. 2001. ¿Cómo manejar abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponinae) en sistemas agroforestales ?. Agroforestería en las Américas. Vol.8, n° 31
- Baker, P. 1984. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera, scolytidae). Folio Entomológica Mexicana no. 61:9-24.
- Damon, A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolitidae). Bulletin os Entomological Research 90, 453-465.
- De la Cruz, M. y Maestre, F. T. (eds.) 2013. Avances en el Análisis Espacial de Datos Ecológicos: Aspectos Metodológicos y Aplicados. ECESPA-Asociación Española de Ecología Terrestre. Móstoles.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) 2004. Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas. Proyecciones al año 2010 (en línea) IT. 95 p. Disponible en <http://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5143s/y5143s00.pdf>
- Florez Fernández J.A., 2001. Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas y el papel de estas en la producción de café. CATIE. Costa Rica.
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D y Staver, Ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, NI. Serie Técnica, manual técnica N° 44 CATIE. 267p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2004. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, CR. 70p.



- Jaramillo A. 2012. Efecto de las abejas silvestres en la polinización del café (*Coffea arabica*: rubiaceae) en tres sistemas de producción en el Departamento de Antioquia. Facultad Nacional de Colombia.
- Lonsdorf E. et al., 2009. Modelling pollination services across agricultural landscapes. *Annals of Botany* n° 103, pp 1589–1600.
- Montes Escobar K., 2012. Modelos de distribución de la broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) en diferentes usos de suelo en el cantón de Turrialba, Costa Rica. CATIE. Costa Rica.
- Nates-Parra G. 2001. Las Abejas sin Aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) de Colombia. *Ciaomtap Cosolombiana* 2 (3) 233 – 248.
- Olschewski R., Klein A., Tschardt T., 2010. Economic trade-offs between carbon sequestration, timber production, and crop pollination in tropical forested landscapes. *Ecological Complexity* n° 7, pp 314–319.
- Pastora Olivas A., 2010. Efecto del uso del suelo adyacente al cafetal sobre la dispersión y dinámica poblacional de la broca *Hypothenemus hampei* Ferrari y la abundancia de enemigos naturales en el catón de Turrialba, Costa Rica. CATIE. Costa Rica.
- Romero, J; Cortina, H. 2007. Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. *Revista Colombiana de Entomología* 33(1): 10-16.
- Taylor H. Ricketts et al., 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. *Ecology Letters* n°11, pp 499–515
- Thies C., Steffan-Dewenter I., Tschardt T. 2003. Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *OIKOS* 101: 18-25.
- Veddeler D., 2008. The contribution of non-managed social bees to coffee production: new economic insights based on farm-scale yield data. *Agroforest Syst* n° 73, pp 109–114.



Zhang ·W., Ricketts T., Kremen C., Carney k., Swinton S., 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics* n° 64, pp 253-260



10. Anexos

ANEXO 2

D. Jacques Avelino

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado:

ESTUDIO DE CONECTIVIDAD DE PARCELAS CAFETALERAS Y PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN PARA LIMITAR LA DISPERSIÓN DE LA BROCA DEL CAFÉ (*Hypothenemus hampei*) MEDIANTE PARCHES DE BOSQUE TROPICAL -TURRIALBA, COSTA RICA,

ha sido realizado bajo mi dirección por la alumna D^a Andrea Gallardo Rodríguez

En Turrialba, a 12 de septiembre de 2013

Firmado:

Firmado: JACQUES AVELINO



ANEXO 3

D. Sergio González Ávila

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado:

ESTUDIO DE CONECTIVIDAD DE PARCELAS CAFETALERAS Y PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN PARA LIMITAR LA DISPERSIÓN DE LA BROCA DEL CAFÉ (*Hypothenemus hampei*) MEDIANTE PARCHES DE BOSQUE TROPICAL -TURRIALBA, COSTA RICA,

ha sido realizado bajo mi autorización académica por la alumna D^a Andrea Gallardo Rodríguez

En Madrid , a 6 de septiembre de 2013

Firmado: SERGIO GONZÁLEZ ÁVILA



ANEXO 4

AUTORIZACIÓN PUBLICACIÓN TRABAJO FIN DE MÁSTER

Dña.: ANDREA GALLARDO RODRÍGUEZ, con D.N.I. nº 53623136 Q, como autor del Trabajo Fin de Máster con título:

ESTUDIO DE CONECTIVIDAD DE PARCELAS CAFETALERAS Y PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN PARA LIMITAR LA DISPERSIÓN DE LA BROCA DEL CAFÉ (*Hypothenemus hampei*) MEDIANTE PARCHES DE BOSQUE TROPICAL -TURRIALBA, COSTA RICA,

del Máster Universitario en RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

☒ AUTORIZA

☐ NO AUTORIZA

La publicación del trabajo fin de máster arriba mencionado, como material de uso pedagógico para el apoyo al estudio y la investigación.

Alcalá de Henares, 7 de septiembre de 2013

Fdo.: Andrea Gallardo Rodríguez